

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**APLICACIONES Y USO DE LA TECNOLOGÍA DE GPS  
DIFERENCIAL DE DOBLE FRECUENCIA CON  
PRECISIÓN CENTIMÉTRICA EN EL ÁREA DE  
LEVANTAMIENTO Y REPLANTEO TOPOGRÁFICO  
GEOREFERENCIADO.**

PRESENTADO POR:

**ALFREDO AYALA RAMÍREZ**

**MILTON MIGUEL HASBUN BARDALES**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**INGENIERO CIVIL**

CIUDAD UNIVERSITARIA, SEPTIEMBRE DE 2012

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR :

**ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO**

SECRETARIA GENERAL :

**DRA. ANA LETICIA ZA VALETA DE AMAYA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

DECANO :

**ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL**

SECRETARIO :

**ING. JULIO ALBERTO PORTILLO**

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

DIRECTOR :

**Ph.D. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO CIVIL**

Título :

**APLICACIONES Y USO DE LA TECNOLOGÍA DE GPS  
DIFERENCIAL DE DOBLE FRECUENCIA CON  
PRECISIÓN CENTIMÉTRICA EN EL ÁREA DE  
LEVANTAMIENTO Y REPLANTEO TOPOGRÁFICO  
GEOREFERENCIADO.**

Presentado por :

**ALFREDO AYALA RAMÍREZ**

**MILTON MIGUEL HASBUN BARDALES**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores :

**ING. JORGE OSWALDO RIVERA FLORES**

**ING. OSCAR AMILCAR PORTILLO PORTILLO**

**ING. REYNALDO ARISTIDES GUTIÉRREZ PAZZUELO**

San Salvador, Septiembre de 2012

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores:

**ING. JORGE OSWALDO RIVERA FLORES**

**ING. OSCAR AMILCAR PORTILLO PORTILLO**

**ING. REYNALDO ARISTIDES GUTIÉRREZ PAZZUELO**

## **AGRADECIMIENTOS**

Queremos aprovechar estas líneas para agradecer a todas las personas e instituciones que nos han ayudado y brindado su apoyo de una manera desinteresada para que este proyecto llegue a concretarse. Para nosotros es un verdadero gusto poder de la manera más atenta expresar nuestro sincero agradecimiento a través de estas líneas.

A la Universidad de El Salvador, a través de la Escuela de Ingeniería Civil por aprobar desde el inicio el tema de la presente investigación.

Al Instituto Salvadoreño de Transformación Agraria (ISTA), al Lic. Rodolfo Noyola Tejada, por su apoyo, información, recursos y tiempo brindados para la realización de ésta tesis.

A nuestros asesores Ing. Jorge Oswaldo Rivera Flores, Ing. Oscar Amilcar Portillo Portillo y al Ing. Reynaldo Aristides Gutiérrez Pazzuelo, por orientarnos y estar siempre dispuestos a ayudarnos en todo momento.

A nuestros amigos, familiares y todas aquellas personas que contribuyeron directa o indirectamente de manera desinteresada al desarrollo de este trabajo de graduación.

## DEDICATORIA

Dedico este triunfo primeramente a Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mis padres: Martina Ramírez y Herminio Ayala, por estar siempre a mi lado y por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por brindarme su apoyo incondicional, desde que empezara a estudiar esta bella pero dura carrera como lo es la de ingeniero civil y desde siempre.

A mis hermanos/as: Hilda (que ya no está con nosotros pero que estoy seguro estaría muy feliz de compartir este triunfo), Lidia, Fernando, Rosa y Yessenia. Le doy gracias a Dios por la familia que me ha dado, mis hermanos y hermanas como tal han sido lo mejor para mí, estuvieron conmigo en todos los momentos difíciles que durante el estudio de mi carrera tuve que pasar.

A mis sobrinos/as porque en ellos he encontrado una motivación extra para salir adelante en los momentos difíciles durante el estudio de mi carrera y porque los amo.

A mi tía Josefina y a mis primos/as Nelson, Delmy, Heriberto, Pastor, Amadeo y Blanca, por su comprensión, paciencia y apoyo que me brindaron, algunos al principio, otros durante y otros al final de mi carrera pero igualmente importante cada uno de ellos/as.

A una amiga muy especial Begoña y su hermano (ambos de apellido Ugarte), también a Mardoqueo Alas, sin su ayuda incondicional no hubiera sido posible haber realizado mis estudios superiores, de la manera más sincera posible les quiero dar mis agradecimientos “estaré por siempre agradecido”.

A mi querida comunidad Los Ramírez que me ha visto crecer, a través de su Directiva Comunal encontró la forma de ayudar a quienes estaban estudiando en nivel superior, siendo yo uno de ellos.

A mis compañeros de clase y amigos, que han hecho que este duro trance como es la carrera se llevara de forma más amena, porque no solo la Universidad de El Salvador ha servido para formarme como ingeniero, sino que en ella he encontrado muchas cosas más. Me ha formado como ingeniero, ha hecho que madurara y he encontrado unos amigos, que son ya parte de mi familia. También agradecer a mi compañero de tesis Milton Hasbun por su comprensión, apoyo y compañía durante el desarrollo de éste proyecto.

No quería pasar por alto la oportunidad de dedicar éste logro a todos los profesores que he tenido durante mi vida académica, no sólo en esta universidad sino también desde pequeño, porque entre todos han formado la base para que hoy pueda ser lo que soy.

Este triunfo es también de ustedes.

**Alfredo Ayala Ramírez**

## **DEDICATORIA**

Mi tesis la dedico con todo amor y cariño.

Al señor Jesucristo, mi Señor y Dios, por enseñarme el camino correcto de la vida, guiándome y fortaleciéndome cada día con su Santo Espíritu.

A mi madre Corina Estela Bardales, a mis hermanas por confiar siempre en mí, apoyándome en todas las decisiones que he tomado en mi vida.

A mi esposa Kenia Carolina Ramos y mis hijos, Milton Miguel y Milton Mauricio, por ser el apoyo principal en todo momento y la fuente de mi inspiración y motivación para superarme cada día más y así poder luchar para que la vida nos depare un futuro mejor.

Al Camarada Neftalí, Ing. Calixto y Lic. Tejada Ricardo ya que sin su ayuda, su comprensión y colaboración, todo este trabajo habría sido imposible de realizar.

Mi reconocimiento hacia el personal docente de la Universidad de El Salvador, por compartir desinteresadamente sus amplios conocimientos y experiencia.

A mi compañero de tesis Alfredo Ayala Ramírez, quien me brindó su apoyo y compañía en momentos de flaqueza e incertidumbre.

**Milton Miguel Hasbun Bardales**

## INDICE GENERAL

<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>GENERALIDADES Y ANTECEDENTES</b>	
1.1 Introducción	1
1.2 Antecedentes	2
1.3 Planteamiento del problema	3
1.4 Objetivos	4
1.5 Alcances	5
1.6 Limitaciones	6
1.7 Justificación	7
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>FUNDAMENTOS TEÓRICOS SOBRE LA GEODESIA</b>	
2.1 Concepto y Origen de la Geodesia	8
2.2 El Elipsoide de revolución	17
2.3 El Geoide	20
2.4 Poligonales	26
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)</b>	
3.1 Introducción	28
3.2 Fundamento del Sistema de Posicionamiento Global	29
3.3 Receptores GPS	39
3.4 Componentes del sistema GPS	42
3.5 Señales y Códigos GPS	48
3.6 Fuentes de error en GPS	52

3.6.1 Errores relativos al Satélite	53
3.6.2 Errores dependientes de la propagación de la señal	55
3.6.3 Errores dependientes del receptor	60
3.6.4 Otros errores	61
3.7 Otros Sistemas Satelitales de Posicionamiento	62

## CAPÍTULO IV

### REDES GEODÉSICAS

4.1 Introducción	67
4.2 Datums Geodésicos	67
4.3 Red Geodésica Nacional	73
4.3.1 Red de Referencia Salvadoreña (RRS)	73
4.3.2 Red Geodésica Básica	76
4.3.3 Red de Densificación Salvadoreña	77
4.3.4 Redes Geodésicas Urbanas	78
4.4 Métodos de medición con GPS	79
4.4.1 Método Estático	79
4.4.2 Stop & Go (RTK, Cinemático en Tiempo Real)	82
4.4.3 Método Cinemático (RTK, Cinemático en Tiempo Real)	84

## CAPÍTULO V

### ETAPAS DE DISEÑO DE LA POLIGONAL CON AMARRE GEODÉSICO EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

5.1 Preparación y planificación	85
5.2 Especificaciones Generales	88
5.3 Elección del sitio	89
5.4 Reconocimiento y Validación	90
5.5 Documentación del reconocimiento	90
5.6 Colocación de mojones de concreto para la poligonal base	91

5.7 Equipo a utilizar	92
5.8 Medición de la Poligonal	94
5.8.1 Método Estático	94
5.8.2 Método Stop & Go	103

## CAPÍTULO VI

### TRABAJO DE OFICINA

6.1 Bajado de datos crudos de las observaciones para el método estático y descarga de archivos de control	110
6.2 Descarga de datos de medición por el método Stop & Go	111
6.3 Pasos para el procesamiento de datos en Software GNS Solutions	111
6.4 Cuadro resumen de coordenadas WGS-84	113
6.4.1 Método Estático	113
6.4.2 Método Stop & Go	114
6.5 Sistemas de Referencia Cartográficos	114
6.6 Proyección Cónica Conforme de Lambert utilizada en El Salvador	116
6.7 Cuadro de coordenadas transformadas en Proyección Cónica Conforme de Lambert	118
6.7.1 Método Estático	118
6.7.2 Método Stop & Go	119

## CAPÍTULO VII

### CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y ANEXOS

7.1 Conclusiones	120
7.2 Recomendaciones	123
7.3 Anexos	125
Anexo A	
Diferencia entre métodos de levantamiento en Poligonal	126
Anexo B	
Pasos para procesar los archivos de observación de cada punto	127

registrado en el método estático, a través del software “GNSS Solutions”

Anexo C	
Reporte-UES-PLG-Estático	147
Anexo D	
Reporte de datos RTK	154
Anexo E	
Reporte de datos Estación Total	155
Anexo F	
Planos de Poligonal	156
Anexo G	
Glosario Técnico	160
Referencias Bibliográficos	185

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Mapa del mundo tal como lo concebían los babilonicos(500 A.C.)	10
Figura 2.2 Adaptación del mapa mundi babilónico (500 A.C.)	10
Figura 2.3 La tierra según Tales de Mileto (625-547 A.C.)	13
Figura 2.4 Representación de Eratóstenes (275 -195 A.C.) para el cálculo del radio terrestre.	16
Figura 2.5 Elipsoide de revolución	18
Figura 2.6 Modelo tridimensional del Geoide de la Tierra NASA	21
Figura 2.7 Comparación entre el Geoide y el Elipsoide	22
Figura 2.8 Relación entre el Geoide y el Elipsoide	23
Figura 2.9 Asimetría de la Tierra	24
Figura 2.10 Representación de las tres superficies	25

Figura 2.11 El Geoide y dos Elipsoides	26
Figura 2.12 Tipos de poligonales	27
Figura 3.1 Esfera con centro en el propio satélite y radio igual a la distancia hasta el receptor	30
Figura 3.2 Dos esferas con centro en satélites diferentes y radio igual a la distancia hasta el receptor	31
Figura 3.3 Tres esferas con centro en satélites diferentes y radio igual a la distancia hasta el receptor	32
Figura 3.4 Desfase de códigos de tiempo transcurrido	34
Figura 3.5 En base a dos Satélites, el Receptor GPS calcula su ubicación (punto X)	36
Figura 3.6 Cálculo de posición incorrecta (punto XX), reloj del Receptor GPS desincronizado 1 segundo	37
Figura 3.7 Ubicación del punto X con relojes sincronizados correctamente	38
Figura 3.8 Receptores GPS portátiles de navegación	40
Figura 3.9 Receptores GPS monofrecuencia	41
Figura 3.10 Receptores DGPS de doble frecuencia	42
Figura 3.11 Componentes del sistema GPS	43
Figura 3.12 El segmento espacial GPS y su distribución	44
Figura 3.13 Estaciones del segmento de Control	46
Figura 3.14 Operadora de satélites de la constelación NAVSTAR-GPS, en la base Aérea de Schriever	47
Figura 3.15 Usuarios del sistema GPS	48
Figura 3.16 Frecuencias GPS	49
Figura 3.17 Señales transmitidas por los satélites GPS	50
Figura 3.18 Refracción Ionosférica	56
Figura 3.19 Refracción troposférica	57
Figura 3.20 Error multipath o de multitrayectoria	59

Figura 3.21 Antena GPS	60
Figura 3.22 El segmento espacial GLONASS	64
Figura 3.23 El segmento espacial GALILEO	66
Figura 4.1 Representación de la altura elipsoidal	72
Figura 4.2 Vértices geodésicos de la RRS	74
Figura 4.3 Estación CORS (San Salvador Ilopango Airport SSIA)	75
Figura 4.4 Red Geodésica Básica	76
Figura 4.5 Red de Densificación de los departamentos de San Salvador – La Libertad	78
Figura 4.6 Esquema de línea base	81
Figura 4.7 Esquema de poligonal en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura	85
Figura 5.1 Montaje de poligonal en Google Earth	87
Figura 5.2 Esquema de poligonal en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura	87
Figura 5.3 Perfiles de perno y mojon usados en poligonal	92
Figura 5.4 Imágenes del equipo receptor y todos sus accesorios	93
Figura 5.5 Selección del Programa FAST Survey	96
Figura 5.6 Creación de un trabajo nuevo	97
Figura 5.7 Introducción de parametros	98
Figura 5.8 Menú desplegable de la opción <b>posproceso</b>	99
Figura 5.9 Ingreso de Parámetros y marcado de nuevo sitio	100
Figura 5.10 Etiquetado de nuevo sitio y grabado de emplazamiento	101
Figura 5.11 Deteniendo registro de datos	102
Figura 5.12 Revisión de archivo guardado en gestionar fichero	103
Figura 5.13 Relación entre los elementos que intervienen en el	104

### método Stop & Go

Figura 5.14 Realizando la conexión del Rover con el Caster	106
Figura 5.15 Inicialización del Rover	107
Figura 5.16 Almacenamiento de punto registrado	108
Figura 5.17 Estado fijo del receptor	109
Figura 6.1 Parámetros proyectados para nuestro país	117

### ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Datos de algunos Elipsoides más empleados	19
Tabla 2.2 Parámetros de la Tierra según WGS-84	20
Tabla 3.1 Resumen de errores acumulados en una observación	62
Tabla 3.2 diferencia entre GPS y GLONASS	65
Tabla 4.1 Parámetros básicos para el punto Datum (Meades Ranch) del NAD27	69
Tabla 4.2 Parámetros básicos para el punto Datum del NAD83.	70
Tabla 4.3 Parámetros básicos que definen el WGS-84	72
Tabla 5.1 Sesiones de medición de poligonal	95
Tabla 6.1 Resumen de coordenadas WGS834 para Método Estático	113
Tabla 6.2 Resumen de coordenadas WGS8-34 para Método Stop & Go	114
Tabla 6.3 Cuadro de Coordenadas Lambert método estático	118
Tabla 6.4 Cuadro de Coordenadas Lamber método Stop & Go	119

## **RESUMEN**

El contenido del presente trabajo, consiste en la aplicación y uso de la tecnología de GPS diferencial de doble frecuencia con precisión centimétrica en el área de levantamiento y replanteo topográfico georeferenciado. Unido a todo lo antes mencionado se encuentra la elaboración de una poligonal georeferenciada en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador.

Para el diseño de la Poligonal Georeferenciada se utilizó tecnología de punta como lo es GPS diferencial de doble frecuencia con precisión centimétrica, para el trabajo de medición de cada uno de los puntos establecidos para la poligonal y para el procesamiento de la información se utilizó el software GNSS Solutions.

El proyecto consiste en la obtención de coordenadas geodésicas de cada uno de los puntos de la poligonal, las cuales a su vez serán transformadas a coordenadas Conformal Lambert, haciendo uso del software llamado GNSS Solutions.

En el desarrollo de éste proyecto de investigación encontramos inicialmente los conceptos que han servido como punto de partida para la investigación del tema; los antecedentes, las causas que han motivado la investigación, objetivos, justificación, recomendaciones y por ultimo algunas limitaciones que se han encontrado al momento de realizar la investigación.

Seguidamente están los fundamentos teóricos del origen de la Geodesia y las diferentes concepciones que tenían algunos filósofos acerca de la forma de la Superficie Terrestre. Además se mencionan, las superficies que están involucradas para la realización de las mediciones geodésicas, como son El Elipsoide y el Geoide, los cuales se emplean dependiendo de los parámetros particulares de cada región y de las áreas de aplicación.

Posteriormente se presenta una introducción al Sistema de Posicionamiento Global (GPS), su principio de funcionamiento y los distintos segmentos que lo constituyen; además, se menciona los tipos de receptores GPS y las diferentes fuentes de error en la que pueda estar sometida toda observación geodésica, cuales son las causas de error y la manera de poder minimizarlos. Se presenta también una breve descripción de otros sistemas satelitales de posicionamiento.

A continuación se describen de forma general los diferentes Datums geodésicos que son utilizados en mediciones con GPS, como lo son NAD27, NAD-83 y WGS-84, con sus respectivos parámetros. Se dan a conocer las Redes Geodésicas en el Salvador, así como también una clasificación de estas redes existentes. En este apartado también se presentan las diferentes técnicas que se pueden utilizar para las observaciones satelitales.

En la sección siguiente se describen las etapas de diseño para la elaboración de la Poligonal con amarre geodésico en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

Entre las etapas para el diseño se mencionan:

Preparación y planificación, especificaciones generales, elección del sitio, reconocimiento y validación, documentación del reconocimiento, colocación de mojones para la poligonal, equipo a utilizar, medición de la poligonal por los métodos Estático y Stop & Go.

La siguiente parte del proyecto consiste en el procesamiento, ajuste, y obtención de coordenadas WGS-84, que son calculadas por medio de un Software Científico GNSS Solutions.

Estas coordenadas WGS-84 de cada uno de los puntos de poligonal son convertidas posteriormente a coordenadas LAMBERT, e establecidas para nuestro País.

Se presentan también las conclusiones y recomendaciones de este trabajo de graduación.

Por último está la sección de los anexos en donde se presenta información que ha sido utilizada en el desarrollo de todo el trabajo de investigación.

## **CAPÍTULO I**

### **GENERALIDADES Y ANTECEDENTES**

#### **1.1 INTRODUCCIÓN**

El SPG o GPS (Sistema de Posicionamiento Global ó Global Positioning System) es un sistema global de navegación por satélite (GNSS) que permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto, una persona o un vehículo con una precisión hasta de centímetros.

Este capítulo describe como la tecnología GPS ha venido tomando importancia en nuestro país y siendo aplicada en el establecimiento de redes geodésicas en El Salvador y mostrando la situación actual de dicha tecnología, así como su importancia en la ejecución de proyectos de Ingeniería Civil, principalmente en el área de levantamiento y replanteo topográfico georeferenciado.

Se encuentran los objetivos de la investigación, los que definen el camino a seguir para poder establecer la Poligonal georeferenciada en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador; se manifiestan los alcances de la investigación, así como las limitaciones o condiciones que puedan impedir en alguna medida la realización de la misma.

## 1.2 ANTECEDENTES

Con el impulso de la tecnología satelital y los grandes avances alcanzados por países industrializados en esta área, el Instituto Geográfico y Catastro Nacional IGCN (actualmente dependencia del Centro Nacional de Registro CNR) inicia a mediados de la década de los 90's un proyecto muy ambicioso, el cual consistió en establecer su primera Red Geodésica de Primer Orden con equipo satelital GPS, enmarcándolo en el Sistema Geodésico Mundial (WGS-84).

Esta nueva Red Geodésica se subdivide en tres Redes:

1. Red de Referencia Salvadoreña (RRS)
2. Red Geodésica Básica (RGB)
3. Red de Densificación Salvadoreña (RDS)

**La Red de Referencia Salvadoreña**, está conformada por tres vértices:

1. SOLEDAD : Ubicado en Colonia La Cima, San Salvador
2. ESCORPIÓN: Ubicado en el Municipio de Corinto, Morazán
3. SAN DIEGO NORTE: Ubicado en el Municipio de Metapán, Santa Ana.

**La Red Geodésica Básica**, es el resultado del Sistema Internacional Earth Rotation Service Terrestrial Reference Frame 1997 época 98 (ITRF) ya que esta red fue observada en 1998 con equipos GPS de doble frecuencia y amarrados a las posiciones absolutas descritas anteriormente.

Esta red consta de 16 vértices, los cuales tienen 8 horas de observación cada uno y cubren la totalidad del país, las cuales son: San Diego Norte, Ataco,

Aguachapio, Chiquileca, Signa Hill, Soledad, Los Menjívar, Dos Mil, Matarra, Pista 97, Taburete, Jucuarán, Guanaste, Yayantique, Conchagua y Escorpión. La Red Geodésica Básica ha servido de apoyo para la red de densificación de los departamentos del país, cuyas líneas base son aproximadamente de 10 a 15 Kilómetros, información que sirve de base geodésica para el Proyecto de modernización del Catastro Nacional. En el presente trabajo construiremos una poligonal base amarrada geodésicamente dentro de las instalaciones de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador tomando como apoyo un mojón geodésico perteneciente a la red de densificación Salvadoreña, apoyándonos con equipo de GPS Diferencial de doble frecuencia y precisión centimétrica haciendo correcciones de coordenadas en tiempo real y en posproceso.

### **1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El desarrollo de los Sistemas de Posicionamiento Globales está generando nuevas áreas de investigación, algunas previstas desde sus comienzos, otras como resultado de una corriente innovadora en este campo que ha mostrado que estos sistemas pueden dar respuesta a muchos problemas que originalmente no fueron considerados. Uno de los últimos desarrollos es el conocido con las siglas RTK (Real Time Kinematics, Cinemático en Tiempo Real). El sistema usado por GPS Diferenciales permite conocer la posición de

un punto, en un determinado sistema de referencia, en tiempo real y con una precisión relativa de orden centimétrico. El control geométrico en numerosas obras civiles continúa siendo un factor determinante al momento de establecer la dinámica de ejecución, por lo que la aplicación del sistema RTK en obras civiles se plantea como un desarrollo lento, pero que, con las exigencias de trabajo en cuanto a tiempo y producción, es importante conocer los diversos usos y beneficios que esta presenta. En nuestro país son muy pocas las empresas que utilizan este tipo de tecnología para la realización de trabajos de topografía desconociendo los beneficios que esta puede brindar en cuanto al grado de avance de trabajo y precisión al momento de ejecutar un levantamiento topográfico y replanteo así como también en la actualización de catastro.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 OBJETIVO GENERAL**

- Dar a conocer a los interesados el uso y manejo del receptor GPS modelo PROMARK200 para realizar los distintos tipos de Levantamientos topográficos como son: Estático, Cinemático y RTK.

### **1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Obtener información geodésica actualizada a partir de observaciones satelitales, que permita realizar posteriormente levantamientos topográficos georeferenciados.
- Aplicar procedimientos y técnicas para levantamientos geodésicos con equipo satelital.
- Construir una poligonal base con coordenadas geodésicas globales dentro de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador.
- Conocer los procesos de conversión de coordenadas globales a coordenadas planas.

### **1.5 ALCANCES**

El trabajo consistirá en las distintas aplicaciones y uso de receptores GPS PROMARK200 en la rama de la topografía, el beneficio que este tipo de tecnología proporciona en cuanto a:

- Producción en cierto tiempo de trabajo, comparado a los equipos convencionales como el Teodolito y la Estación Total.

- Construcción de una poligonal base amarrada geodésicamente en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador.
- Establecer los procedimientos de las observaciones satelitales y posprocesos de obtención de las coordenadas geográficas (Latitud, Longitud y elevación); además de transformarlas a planas (x, y) bajo la Proyección Cónica Conforme de Lambert.

## **1.6 LIMITACIONES**

- Pocos trabajos han sido realizados a nivel académico en el país sobre el uso de equipo de GPS diferenciales.
- Las prácticas de campo con los Estudiantes de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad solo se podrán llevar a cabo en el interior de la Universidad ó en la Institución que está brindando el apoyo en cuanto a equipo.
- Debido a que el equipo GPS es de alta tecnología y su costo es elevado, son pocas las instituciones que lo poseen y ninguna Universidad cuenta con esta especialización ó materias afines dentro de sus planes de estudio.

Estos son algunos factores de la poca información y difusión de esta tecnología; por lo consiguiente existe poco personal capacitado en esta área.

## 1.7 JUSTIFICACIÓN

Teniendo en cuenta el gran avance de la tecnología y la exigencia del mundo moderno en obtener elevados niveles de precisión en la posición geográfica y cartográfica, se desarrolló el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) para uso militar inicialmente y posteriormente para uso civil. Esta tecnología de última generación es aplicada en Geodesia, Topografía, Cartografía y áreas afines con el propósito de generar precisiones centimétricas con el uso de GPS diferenciales y minimizar costos y tiempos de ejecución de los proyectos.

En nuestro país pocas son las empresas privadas o gubernamentales que conocen o realizan levantamientos topográficos y/o geodésicos con esta clase de equipo y sin tomar en cuenta normas y especificaciones técnicas, realizando sus levantamientos con coordenadas asumidas o en forma errónea.

El presente trabajo dará a conocer el funcionamiento y beneficio que la tecnología GPS nos brinda en la rama de la topografía. Además, el manejo de este equipo para que en un futuro, si la Universidad adquiere este tipo de equipo, cuente con un documento que pueda ayudar al manejo y uso adecuado tomando en consideración este tema de la tecnología de GPS como un capítulo a desarrollar en las materia de topografía tanto para la Escuela de Ingeniería Civil como para la Escuela de Arquitectura.

## **CAPÍTULO II**

### **FUNDAMENTOS TEÓRICOS SOBRE LA GEODESIA**

#### **2.1 CONCEPTO Y ORIGEN DE LA GEODESIA**

##### *Geodesia*

Geodesia se deriva del griego “geo” que significa tierra y “daio” que significa dividir. La geodesia es una ciencia que se encarga por medios matemáticos de estudiar la forma y las dimensiones de la tierra y puntos distribuidos por toda la tierra que se llaman puntos geodésicos y que forman parte de la tierra. La geodesia estudia la forma y dimensiones de la tierra considerándola en su totalidad. Se ocupa principalmente de su medida; para este fin, se apoya en la tecnología actual. La diferencia con la Topografía es que esta última son un conjunto de posiciones que se utilizan para determinar ubicaciones de puntos sobre la superficie de la tierra por medio de medidas según los tres elementos del espacio que son el largo, ancho y alto, mientras que la geodesia se dedica a dividir geoméricamente la Tierra, global o parcial y determinar formas y dimensiones, dependiendo de lo que se vaya a estudiar.

##### *Origen de la Geodesia*

La humanidad, a través de su historia, poco ha incrementado su conocimiento acerca del planeta en el que vive. Desde los tiempos inmemoriales, siempre se ha estado interesado por conocer la forma exacta de la tierra; varios fenómenos observados alrededor del hombre, usualmente con interés y temor a la vez,

dieron lugar a determinar su comportamiento y estimular el desarrollo de supersticiones, ritos y cultos. Esta manera de entender, dio paso al surgimiento de monumentos tales como las pirámides de Egipto, así como templos y ciudades construidas en Centro y Sur América.

Durante muchos siglos, el único camino para aprender sobre la geometría de la tierra fue mediante observaciones del sol, la luna, otros planetas y las estrellas, surgiendo de esta manera la astronomía. Así, los primigenios desarrollos de la Geodesia fueron a la par con los de la astronomía.

#### Breve reseña histórica:

En la *antigua Babilonia* se consideraba que la Tierra era un disco plano que flotaba en el océano y en cuyo centro se encontraba Babilonia. A esta concepción corresponde el único mapa del mundo que se conoce de esta época (Figura 2.1), posteriormente se hizo una adaptación (Figura 2.2). Los otros mapas babilónicos son de carácter local y reproducen ciudades, barrios, canales o construcciones.



Figura 2.1 Mapa del mundo tal como lo concebían los babilónicos (500 A.C.)

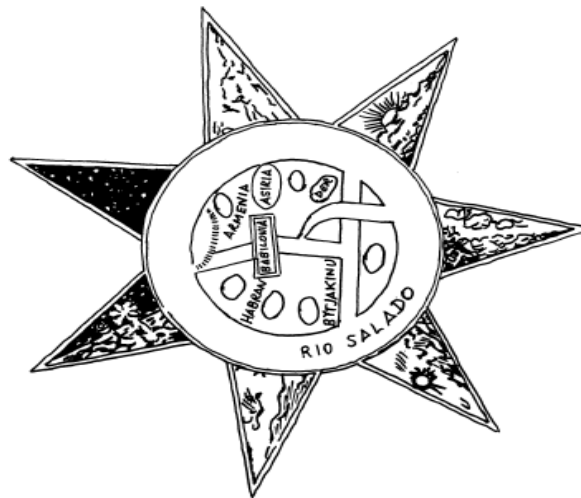


Figura 2.2 Adaptación del mapa mundi babilónico (500 A.C.)

Algunos de los instrumentos de observación utilizados en aquel tiempo son: el gnomon, la clepsidra y el polos:

El gnomon consiste en una varilla clavada verticalmente y cuya sombra se observa. La sombra más corta corresponde al mediodía (Sol en el punto más alto del horizonte). De las sombras del mediodía la más corta del año se corresponde con el solsticio de verano y la más larga con el de invierno. Con tan sencillo instrumento puede establecerse un calendario preciso en el que puede fijarse el comienzo exacto de las estaciones. Además de un reloj solar que permite establecer las divisiones del día.

La clepsidra es uno de los primeros relojes basados en un principio físico sin base astronómica, utilizado por las noches y durante los días nublados. Consiste en un recipiente cilíndrico graduado en el que cae agua de un depósito. Su uso se extendió por todos los pueblos de la antigüedad. Los romanos añadieron flotadores que movían engranajes solidarios con agujas que mostraban las horas en un cuadrante. Se utilizó hasta el siglo XVII.

El polos es un instrumento específicamente mesopotámico, constituido por una semiesfera de gran diámetro cuya concavidad se orientaba hacia el Sol. Suspendida en el centro de la esfera hay una pequeña bolita que proyecta sus sombras sobre la superficie interna de la semiesfera. El movimiento aparente del Sol se dibuja así en el fondo del *polos*. Puede leerse directamente la inclinación de la eclíptica, las fechas de los equinoccios, los solsticios, etc. El

*polos* sería luego perfeccionado por los griegos. En lugar de una semiesfera utilizarían una estructura esférica formada por una banda central, el zodíaco, y círculos de alambre ó madera perpendiculares al zodíaco. El resultado es la armilla ó esfera armilar que permite la determinación de las posiciones de los astros por comparación directa.

Los *egipcios* con su gran conocimiento técnico y su capacidad organizativa construyeron grandes monumentos con medios muy simples, es notable la extraordinaria precisión en la orientación de las caras de algunas pirámides respecto de los puntos cardinales (cardinal procede del nombre que los agrimensores romanos daban a los ejes de sus levantamientos: cardo y decumanus).

A continuación se presentan algunas pirámides que fueron construidas en Egipto; las desviaciones son inferiores al grado.

Gran Pirámide de Keops y Pirámide de Kefren	2' 28"
Micerino	9' 12"
Romboidal	24' 25"
Médium	12' 3"

Aunque se dan los valores en segundos, a ojo desnudo, un buen observador no puede apreciar más allá de minuto de arco. Si se tiene en cuenta las dimensiones de esos monumentos los errores resultan despreciables. Hay que

admitir que los constructores de esas pirámides disponían de un procedimiento eficaz para la determinación de la meridiana. “No todos los monumentos egipcios están tan rigurosamente orientados como las pirámides de Gizé. Muchos templos y pirámides están orientados con relación al Nilo, existen indicios racionales de que existía la creencia que el Nilo transcurría siempre de sur a norte. ¡A pesar de los meandros!”.

*Tales de Mileto (625 - 547 A.C.).* La Tierra es una especie de disco flotando en un océano infinito, el Mediterráneo ocupa el centro del disco y se comunica con el océano circundante por el estrecho de Gibraltar (Figura 2.3).

*Anaximandro de Mileto (611 – 545 A.C.).* La Tierra es un disco cilíndrico cuyo eje está orientado de Este a Oeste. Introdujo la idea de la esfera celeste que aun continua utilizándose en Astronomía de Posición.

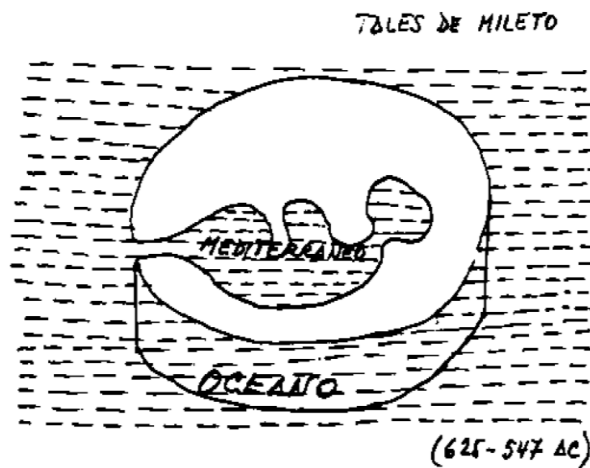


Figura 2.3 La tierra según Tales de Mileto (625-547 A.C.).

*Anaximines*, discípulo de Anaximandro, mantiene la idea de Tales del disco y el océano circundante, pero sostenido por una capa de aire comprimido que no escapa debido a las grandes dimensiones del disco.

*La Escuela de Pitágoras* fue la primera en considerar la tierra como una esfera, concepto que prevaleció durante muchos siglos; de hecho, la esfera fue considerada por los filósofos en ese entonces como el sólido regular perfecto. Los primeros intentos de darle dimensiones a la esfera son atribuidos a *Platón* (429 – 348 A.C.) quien determinó la circunferencia terrestre como 64,000 Km. Mientras que Arquímedes estimó que medía 48,300 Km.

*Eratóstenes* (275 -195 A.C.) es el primero que desarrolla un método científico para calcular el radio terrestre, puede considerársele el fundador de la Geodesia. El punto de partida lo constituyen unas observaciones y unos datos: El día del solsticio de verano, al medio día los rayos solares inciden perpendicularmente en Syene (Hoy Asuan a la orilla del Nilo) iluminando el fondo de los pozos. En el mismo día y hora, en Alejandría la sombra de un obelisco permite determinar que los rayos solares forman con la vertical un ángulo de  $7^{\circ}12'$ ,  $1/50$  de circunferencia (Figura 2.4).

Supone que los rayos del Sol forman un haz paralelo. Considera, además, los siguientes datos: El Sol se encuentra exactamente en el Trópico de Cáncer al mediodía del solsticio de verano, luego Syene está en el Trópico. Syene se encuentra al sur de Alejandría y en el mismo meridiano. La distancia entre las

dos ciudades es de 5.000 estadios. Concluye que la desviación angular respecto a la vertical en Alejandría es exactamente el ángulo que forman las verticales en el centro de la esfera. Luego el meridiano tiene una longitud de 250.000 estadios. Si se usa el estadio de 185 metros, obtuvo un valor de 4625000 metros. Un error del 15%. Según los valores que se atribuya al estadio griego, variable en el tiempo y de una región a otra, resulta una precisión entre el 0.6% y el 16%.

Esta notable exactitud es el resultado de la feliz compensación de algunos errores:

- Aunque es cierto que los rayos solares inciden perpendicularmente al mediodía del día del solsticio de verano en el Trópico de Cáncer, Asuan no está exactamente en el Trópico, está 37 millas al norte.
- Asuan no está en el mismo meridiano que Alejandría, la diferencia de longitudes es de  $3^{\circ}30'$ .
- La diferencia de latitudes es de  $7^{\circ}5'$  y no de  $7^{\circ}12'$ .

Existen varias hipótesis de cómo estimó la distancia de 5,000 estadios. Unos dicen que basándose en el hecho de que una caravana de camellos se desplazaba unos 100 estadios/día y que se empleaban 50 días en llegar de una ciudad a otra. Otros que empleó algún mapa catastral egipcio de los que

disponía en la Biblioteca de Alejandría, de la que era director. En esos mapas las distancias se medían a pasos regulares por funcionarios especializados.

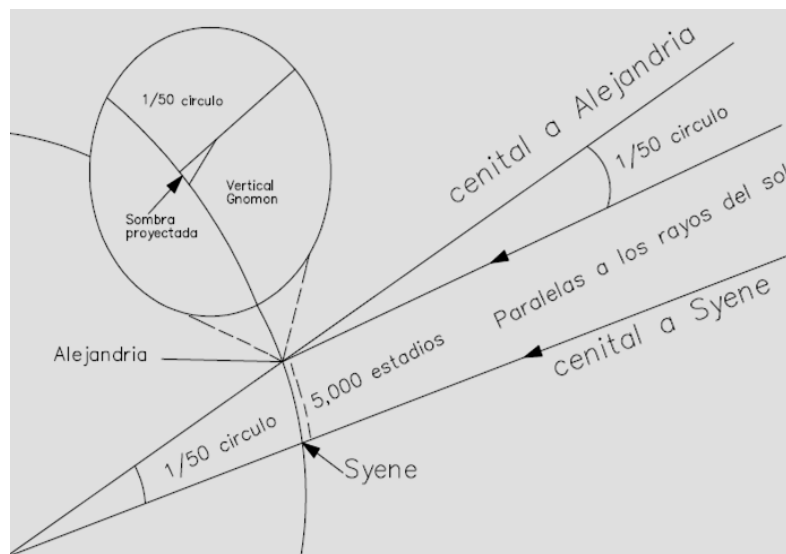


Figura 2.4 Representación de Eratóstenes (275 -195 A.C.) para el cálculo del radio terrestre.

En el *siglo XVII* fue posible medir las distancias y la gravedad con la precisión necesaria para poder entender que la curvatura de la tierra no era igual en diferentes lugares; esto significaba que la Tierra no era una esfera después de todo.

Los *Franceses* hicieron mediciones y estaban convencidos que la tierra “apuntaba” hacia los polos como la configuración de un huevo. Los *Británicos* adoptaron la nueva teoría de gravitación de Newton y estaban convencidos que la Tierra era “achatada” en los polos teniendo la forma de una toronja.

La Academia Francesa de Ciencias decidió resolver el argumento en una forma más simple: enviando una expedición a Laponia en el Norte de Europa y otra al Perú cerca del Ecuador para medir y comparar los respectivos arcos. Si un arco de un grado en el Norte era más corto que un arco de un grado cerca del Ecuador entonces los franceses tenían la razón. En efecto, los británicos tenían razón pues la Tierra era más achatada en los polos.

## 2.2 EL ELIPSOIDE DE REVOLUCIÓN

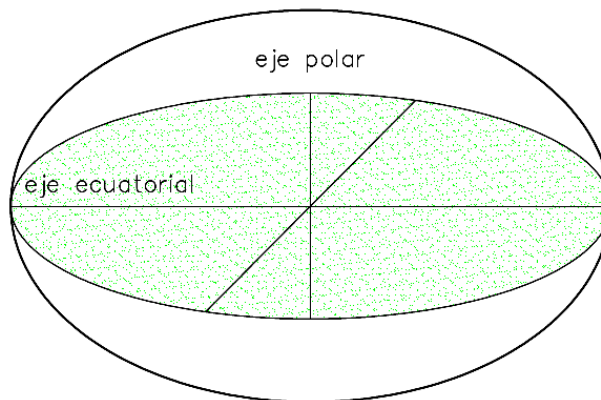
Debido a la concepción que se tiene de la Tierra que es ligeramente achatada en los polos y abultada en el Ecuador, se hace una semejanza con un elipsoide de revolución.

Este elipsoide se genera haciendo girar una elipse alrededor de su eje menor. Al especificar su forma y tamaño se define el elipsoide de revolución. (Figura 2.5). Existen diferentes modelos de elipsoides utilizados en Geodesia, denominados *elipsoides de referencia*. Las diferencias entre éstos vienen dadas por los valores asignados a sus parámetros más importantes:

- *Semieje ecuatorial* ( $a$ ) o *Semieje mayor*: longitud del semieje correspondiente al ecuador, desde el centro de masas de la Tierra hasta la superficie terrestre.

- *Semieje polar ( b ) o Semieje menor*: longitud del semieje desde el centro de masas de la Tierra hasta uno de los polos. Alrededor de este eje se realiza la rotación de la elipse base.
- *Factor de achatamiento (f)*: este factor representa qué tan diferentes son los semiejes entre sí.

Su expresión es :  $f = 1 - \frac{b}{a}$



a=Radio Ecuatorial  
 b=Radio Polar  
 f=Relación de Achatamiento  $(a-b)/a$

*Figura 2.5 Elipsoide de revolución.*

Se muestra en la Tabla 2.1 algunos datos de los elipsoides más empleados; por lo general se les conoce por el nombre de quien las derivó y el año en que fue

determinado. El elipsoide internacional fue desarrollado en 1910 por Hayford y recomendado en 1924 por la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica, (IUGG) para uso internacional. Sin embargo, los elipsoides han sido empleados indistintamente dependiendo de los parámetros particulares y las áreas de aplicación.

*Tabla 2.1 Datos de algunos Elipsoides más empleados.*

<b>NOMBRE</b>	<b>RADIO ECUATORIAL "a" (en m.)</b>	<b>ACHATAMIENTO "f"</b>	<b>REGIÓN</b>
Airy (1830)	6376563,40	1/299.3	Gran Bretaña
Bassel (1841)	6377397,16	1/299.15	Japón
<b>Clarke (1866)</b>	<b>6378206,40</b>	<b>1/295.0</b>	<b>Norteamérica</b>
Clarke (1880)	6378249,15	1/293.5	Francia, África
Everest (1830)	6377276,35	1/300.8	India
Internacional (1924)	6378388,00	1/297.0	Europa, Suramérica
Krassovsky (1940)	6378245,00	1/298.3	Rusia

Uno de los elipsoides de referencia más utilizados actualmente es el descrito en el sistema denominado World Geodetic System 84 (WGS-84), desarrollado por el Departamento de Defensa de los EEUU, y que tiene como origen el centro de masas de la Tierra. Su popularidad se debe a que es el utilizado por el Sistema de Posicionamiento Global por Satélite GPS.

El elipsoide WGS-84 define los parámetros para la Tierra indicados en la Tabla 2.2.

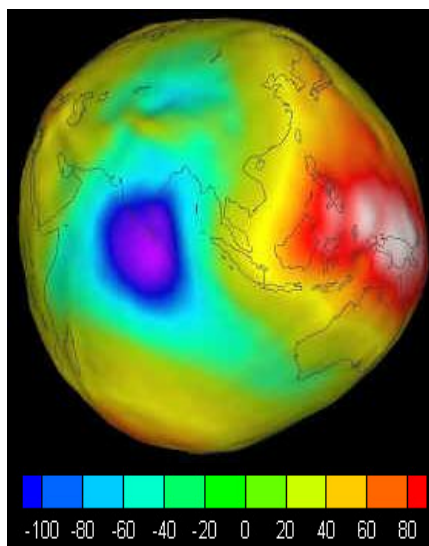
Tabla 2.2 Parámetros de la Tierra según WGS-84.

Nombre	Símbolo	Valor
Semieje mayor de la elipse	a	6378.137000 km
Semieje menor de la elipse	b	6356.752314 km
Factor de achatamiento	$f = \frac{a-b}{a}$	1/298.257223563
Velocidad angular de la Tierra	$\omega_e$	7292115. <u><math>10^{-11}</math></u> rad/s

La región centroamericana está siendo tomada en cuenta dentro de la región *Norteamericana*; el elipsoide que se utiliza en El Salvador es el **Clarke (1866)**.

### 2.3 EL GEOIDE

No obstante la ventaja de ser una figura matemática sencilla, el elipsoide no es adecuado cuando lo que deseamos medir son altitudes. Dado que la mayor parte de la Tierra está cubierta por mares y océanos (70,8 %, según entonces la superficie de referencia por excelencia para medir altitudes es el nivel medio del mar. Además, este nivel medio es una mejor aproximación a la forma real de la Tierra vista desde el espacio (Figura 2.6).



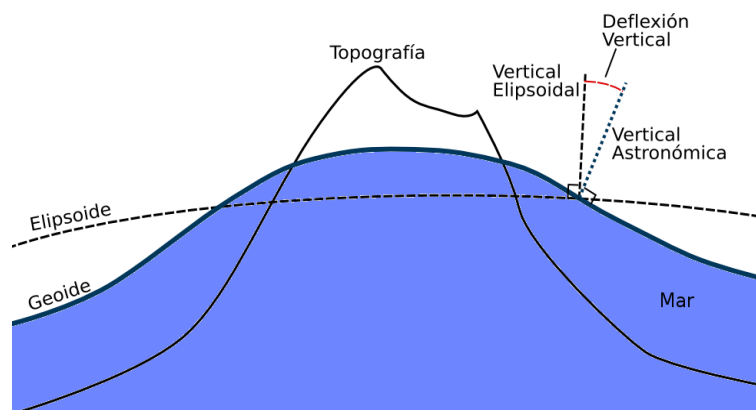
*Figura 2.6 Modelo tridimensional del Geoide de la Tierra NASA.*

En la imagen, las zonas en color rojo son por tanto regiones del geoide con mayor elevación y las azules son las más profundas.

El nivel medio del mar, a su vez, depende de las irregularidades en el campo gravitatorio de la Tierra, que alteran su posición. El agua de los océanos del globo busca estar en equilibrio y por ello tiende a seguir una superficie gravitatoria equipotencial.

Es por esto que se introduce una nueva figura llamada **Geoide**, definida como: la superficie equipotencial del campo gravitatorio de la Tierra que mejor se ajusta al nivel medio global del mar. Una de las consecuencias de esta definición es que el geoide es siempre perpendicular al vector de gravedad local en cada punto.

La Figura 2.7 muestra una comparación entre el geoide y el elipsoide:



*Figura 2.7 Comparación entre el Geoide y el Elipsoide.*

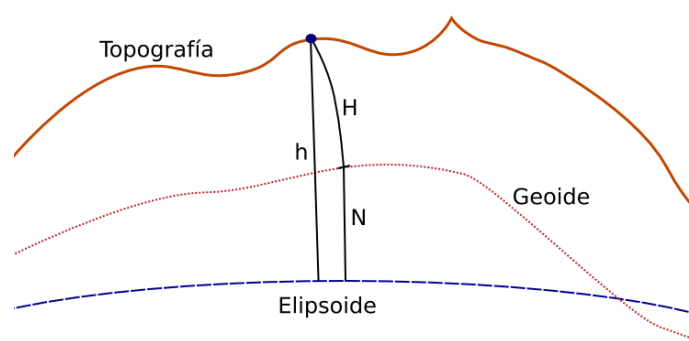
Como ya hemos mencionado, es fácil asociar el geoide al nivel medio del mar en las zonas oceánicas. Pero en lo que respecta a los continentes lo que se hace es tomar medidas cuidadosas para extender el concepto a las zonas secas, lo que permite utilizar una referencia de alturas común y coherente.

Medir el geoide a nivel mundial es una tarea difícil, pues la corteza terrestre no es homogénea y por tanto su densidad no es uniforme, lo que altera la fuerza de gravedad en un punto dado. Asimismo, las grandes masas de rocas (como cordilleras, montañas y volcanes) pueden alterar también el vector de gravedad local.

Por otro lado, es posible relacionar matemáticamente al geoide y el elipsoide mediante la expresión:

$$h = H + N$$

Donde:  $h$  es la altura de un punto con respecto al elipsoide (altura elipsoidal),  $N$  es la altura del geoide respecto al elipsoide (ondulación del geoide) y  $H$  es la altura del punto con respecto al geoide (llamada altura ortométrica). La Figura 2.8 muestra esta relación.

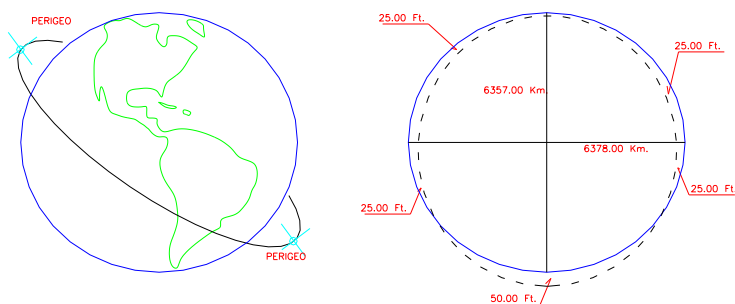


*Figura 2.8 Relación entre el Geoide y el Elipsoide.*

A principios de la década de los 50, el Servicio Topográfico del Ejército de los Estados Unidos (AMS), añadió una excitante y nueva información del hemisferio Sur. Un equipo de gente en el Sudán completó una información llenando un vacío en la triangulación a lo largo del meridiano 30 que atraviesa el África y el Servicio Geodésico Interamericano (IAGS) completó un gran arco de triangulación a través de la América Central y del Sur. Estos dos grandes arcos partiendo del Norte y extendiéndose hasta el Sur, fueron analizados por el AMS y es así como se pudo derivar una nueva figura de la Tierra que resultó ser un poco más pequeña que la antes utilizada internacionalmente.

En 1958 se añadió otra concluyente información por el mismo AMS cuando se lanzó el primer satélite artificial. Se encontró que la Tierra era un poco menos achatada de lo que se había anteriormente pensado.

Cuando se analizaron los datos del satélite en forma más minuciosa, resultó que el punto más cercano en una órbita del satélite, el perigeo, estaba siempre más cerca de la Tierra cuando el satélite estaba sobre el hemisferio Norte, que cuando lo estaba en el Hemisferio Sur, esto indica la asimetría en la forma de la Tierra y además, que es un poco más estrecha en el Norte que en el Sur (Figura 2.9).



*Figura 2.9 Asimetría de la Tierra.*

Como resultado de continuas mediciones, se determinó que la figura del geoide es muy irregular comparada con la de un elipsoide y estas irregularidades se describen midiendo las distancias diferenciales que separan de un elipsoide más uniforme, a estas distancias se les conoce como las alturas geoidales.

Anteriormente se hizo una comparación entre el Elipsoide y el Geoide; a continuación se presenta una distinción entre las tres superficies: la topográfica, la del geoide y la de elipsoide (Figura 2.10). Los mapas topográficos dan las elevaciones sobre el nivel del mar (el geoide). Los mapas geoidales dan las alturas geoidales en relación con el elipsoide y ambos conjuntamente dan la altura total de la topografía en cualquier punto sobre el elipsoide.

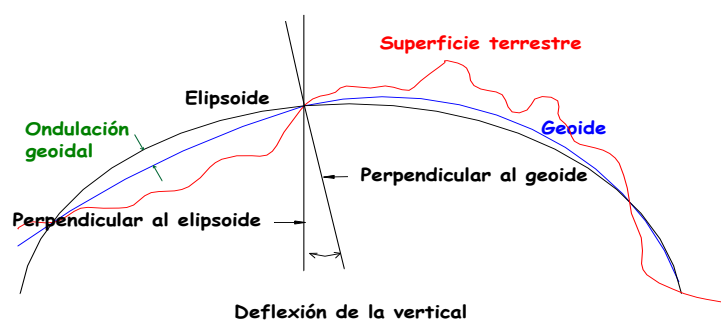


Figura 2.10 Representación de las tres superficies.

Para describir la forma del geoide usamos un elipsoide como una aproximación, pero tenemos que escoger uno que tenga las dimensiones correctas, así como su forma. En la Figura 2.11, se muestra un elipsoide que se ajusta muy bien, por ejemplo, en América, pero no necesariamente se ajusta en Europa.

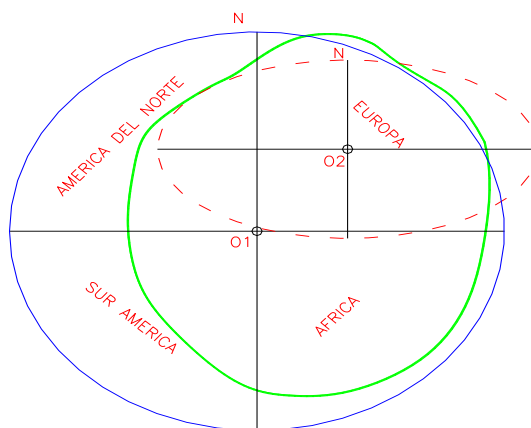


Figura 2.11 El Geoide y dos Elipsoides.

## 2.4 POLIGONALES

La poligonación es uno de los procedimientos topográficos más comunes. Las poligonales se usan generalmente para establecer puntos de control y puntos de apoyo para el levantamiento de detalles y elaboración de planos, para el replanteo de proyectos y para el control de ejecución de obras.

Una poligonal es una sucesión de líneas quebradas, conectadas entre sí en los vértices. Para determinar la posición de los vértices de una poligonal en un sistema de coordenadas rectangulares planas, es necesario medir el ángulo horizontal en cada uno de los vértices y la distancia horizontal entre vértices consecutivos.

En forma general, las poligonales pueden ser clasificadas en:

- *Poligonales cerradas (Figura 2.12a)*, en las cuales el punto de inicio es el mismo punto de cierre, proporcionando por lo tanto control de cierre angular y lineal.
- *Poligonales abiertas o de enlace con control de cierre (Figura 2.12b)*, en las que se conocen las coordenadas de los puntos inicial y final y la orientación de las alineaciones inicial y final, siendo también posible efectuar los controles de cierre angular y lineal.
- *Poligonales abiertas sin control de cierre (Figura 2.12c)*, en las cuales no es posible establecer los controles de cierre, ya que se tiene sólo como dato las coordenadas u orientación de una sola base.

a. Poligonal cerrada

b. Poligonal abierta con control

c. Poligonal abierta sin control

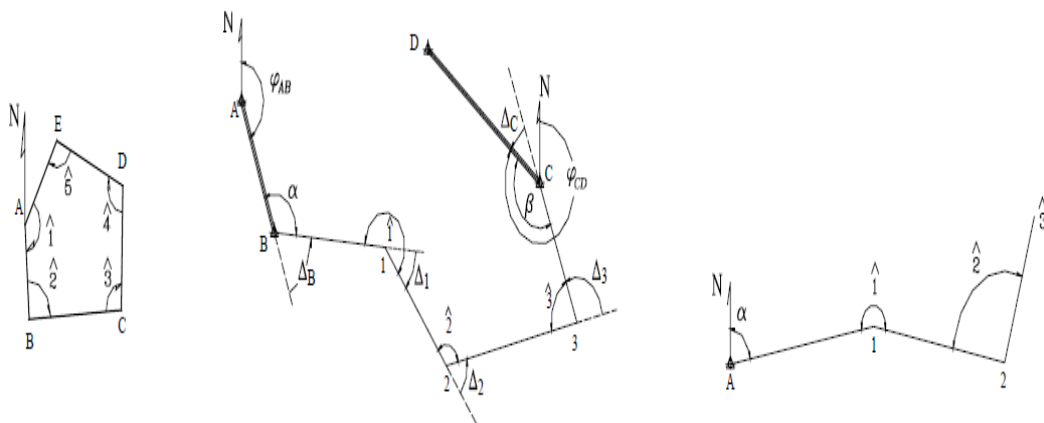


Figura 2.12 Tipos de poligonales.

Con las medidas angulares puede calcularse la dirección de cada lado de la poligonal y con este dato y con las medidas de longitud de las líneas se podrá calcular la posición de cada uno de los puntos de estación. El control horizontal por medio de poligonales con propósitos geodésicos también necesita de observaciones astronómicas para el control de los azimutes.

## **CAPÍTULO III**

### **SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (SPG Ó GPS)**

#### **3.1 INTRODUCCIÓN**

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) es un sistema de localización, diseñado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos con fines militares para proporcionar estimaciones precisas de posición, velocidad y tiempo; operativo desde 1995 utiliza conjuntamente una red de ordenadores y una constelación de 24 satélites para determinar por triangulación, la altitud, longitud y latitud de cualquier punto u objeto en la superficie terrestre.

En el ámbito civil y alegando razones de seguridad sólo se permite el uso de un subconjunto degradado de señales GPS. Sin embargo, la comunidad civil ha encontrado alternativas para obtener una excelente precisión en la localización mediante las denominadas técnicas diferenciales. Gracias a ellas las

aplicaciones civiles han experimentado un gran crecimiento y actualmente existen más de setenta fabricantes de receptores GPS.

### 3.2 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL

El funcionamiento del GPS radica en los siguientes aspectos:

#### 1. La posición

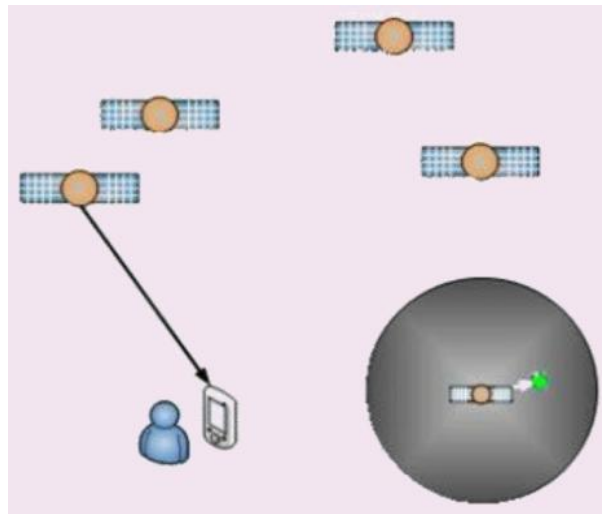
La situación de los satélites puede ser determinada de antemano por el receptor con la información del llamado **almanaque** (un conjunto de valores con cinco elementos orbitales), parámetros que son transmitidos por los propios satélites. La colección de los almanaques de toda la constelación se completa cada 12-20 minutos y se guarda en el receptor GPS.

La información que es útil al receptor GPS (ubicado en el punto que queremos medir) para determinar su posición se llama efemérides. En este caso cada satélite emite sus propias efemérides, en la que se incluye la salud del satélite (si debe o no ser considerado para la toma de la posición), su posición en el espacio, su hora atómica, información doppler, etc.

El receptor GPS utiliza la información enviada por los satélites (hora en la que emitieron las señales, localización de los mismos) y trata de sincronizar su reloj

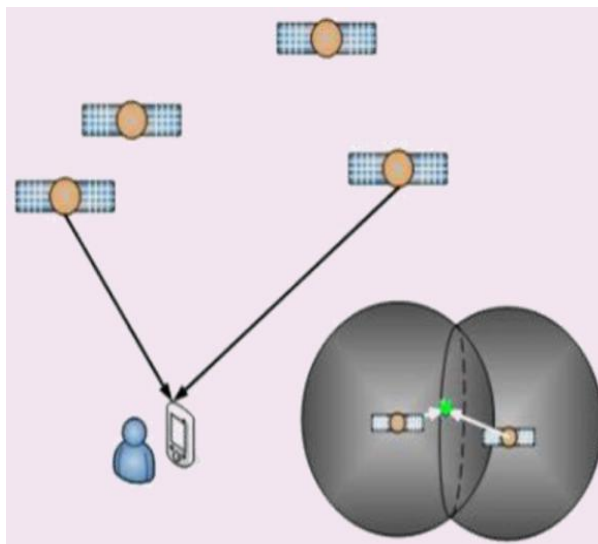
interno con el reloj atómico que poseen los satélites. La sincronización es un proceso de prueba y error que en un receptor portátil ocurre una vez cada segundo. Una vez sincronizado el reloj, puede determinar su distancia hasta los satélites y utiliza esa información para calcular su posición en la tierra.

Cada satélite indica que el receptor se encuentra en un punto en la superficie de la esfera, con centro en el propio satélite y de radio la distancia total hasta el receptor (Figura 3.1).



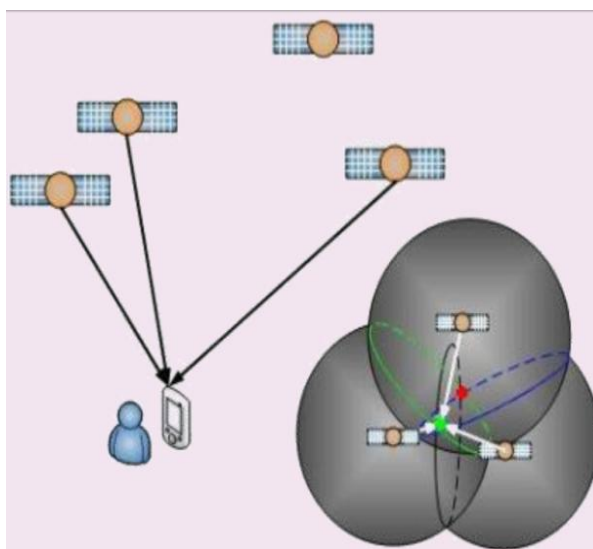
*Figura 3.1 Esfera con centro en el propio satélite y radio igual a la distancia hasta el receptor.*

Obteniendo información de dos satélites se nos indica que el receptor se encuentra sobre la circunferencia que resulta cuando se intersecan las dos esferas (Figura 3.2).



*Figura 3.2 Dos esferas con centro en satélites diferentes y radio igual a la distancia hasta el receptor.*

Si adquirimos la misma información de un tercer satélite notamos que la nueva esfera sólo corta la circunferencia anterior en dos puntos (Figura 3.3) Uno de ellos se puede descartar porque ofrece una posición absurda (por fuera del globo terráqueo, sobre los satélites). De esta manera ya tendríamos la posición en 3D. Sin embargo, dado que el reloj que incorporan los receptores GPS no está sincronizado con los relojes atómicos de los satélites GPS, los dos puntos determinados no son precisos.



*Figura 3.3 Tres esferas con centro en satélites diferentes y radio igual a la distancia hasta el receptor.*

Teniendo información de un cuarto satélite, eliminamos el inconveniente de la falta de sincronización entre los relojes de los receptores GPS y los relojes de los satélites. Y es en este momento cuando el receptor GPS puede determinar una posición 3D exacta (latitud, longitud y altitud). Al no estar sincronizados los relojes entre el receptor y los satélites, la intersección de las cuatro esferas con centro en estos satélites es un pequeño volumen en vez de ser un punto. La verdadera posición estaría dada al ajustar la hora del receptor de tal forma que este volumen se transforme en un punto.

## 2. La distancia

Como se ha venido mencionando el sistema GPS tiene por objetivo calcular la posición de un punto cualquiera en un espacio de coordenadas  $(x,y,z)$ , partiendo del cálculo de las distancias del punto a un mínimo de tres satélites cuya localización es conocida. La distancia entre el usuario (receptor GPS) y un satélite se mide multiplicando el tiempo de vuelo de la señal emitida desde el satélite por su velocidad de propagación (velocidad de la luz).

Para medir el tiempo de vuelo de la señal de radio es necesario que los relojes de los satélites y de los receptores estén sincronizados y que generen una sucesión de códigos digitales, con una determinada secuencia, para que se les pueda comparar fácilmente y sin ambigüedad, pues deben generar simultáneamente el mismo código. Cuando el receptor recibe el código se mira retrospectivamente para ver cuanto hace que se generó ahí ese mismo código, conociendo de esta manera el tiempo transcurrido desde que ese mismo código específico partió desde el satélite y llegó al receptor. Por otra parte, mientras los relojes de los satélites son muy precisos los de los receptores son osciladores de cuarzo de bajo coste y por tanto imprecisos. Las distancias con errores debidos al sincronismo se denominan *pseudodistancias* (Figura 3.4).

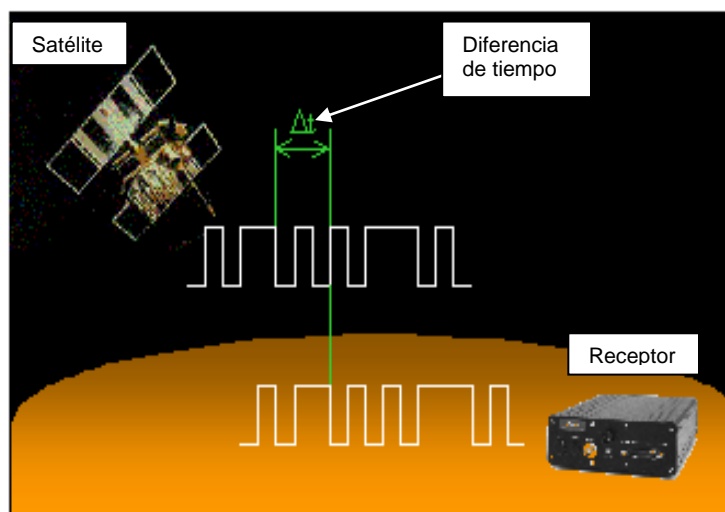


Figura 3.4 Desfase de códigos de tiempo transcurrido

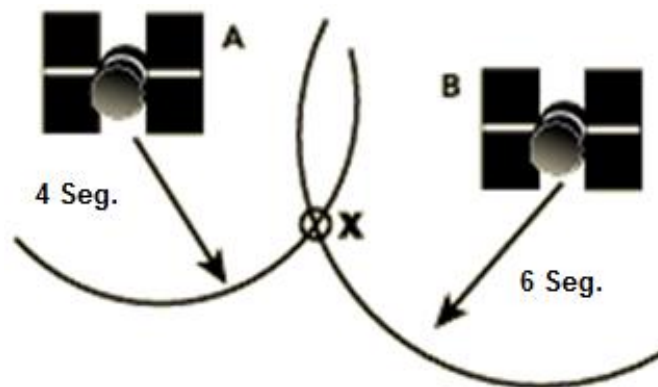
En el cálculo de las *pseudodistancias* hay que tener en cuenta que las señales GPS son muy débiles y se hallan inmersas en el ruido de fondo inherente al planeta en la banda de radio. Este ruido natural está formado por una serie de pulsos aleatorios, lo que motiva la generación de un código pseudo-aleatorio artificial por los receptores GPS como patrón de fluctuaciones. En cada instante un satélite transmite una señal con el mismo patrón que la serie pseudo-aleatoria generada por el receptor. En base a esta sincronización, el receptor calcula la distancia realizando un desplazamiento temporal de su código pseudo-aleatorio hasta lograr la coincidencia con el código recibido; este desplazamiento corresponde al tiempo de vuelo de la señal. Este proceso se realiza de forma automática, continua e instantánea en cada receptor.

### 3. Sincronización.

Ya hemos comentado que la precisión y la exactitud en la medida de la distancia a los satélites son cruciales para el perfecto funcionamiento del GPS. Para ello, debemos disponer de relojes enormemente precisos, ya que una milésima de segundo a la velocidad de la luz puede suponer un error de 300 km. Para los satélites esto no supone un problema ya que cada uno de ellos dispone de un reloj atómico en uso como mínimo en su interior (cada uno lleva en su interior cuatro relojes de este tipo para asegurar que por lo menos uno funcione). Aunque su nombre dé a entender que funciona con energía atómica, este reloj no utiliza este tipo de energía. Su nombre proviene del hecho que utiliza las oscilaciones de un átomo determinado como "metrónomo".

Lamentablemente, dado el coste y el tamaño, es imposible disponer de un reloj atómico en un receptor GPS. Para solucionar este problema, los ingenieros que desarrollaron el GPS tuvieron la brillante idea de **incluir (simular) un "reloj atómico"** mediante la recepción de la señal de un satélite extra. La recepción de una señal extra permite que el receptor pueda calcular los errores producidos en la medición y comparación del tiempo y compensarlos, de ahí la **necesidad de emplear cuatro satélites** para la medición de nuestra posición, en lugar de tres como sería de esperar en un sistema tridimensional. Gracias a este "reloj atómico", los receptores pueden emplearse para algo más que el cálculo de posiciones.

La trigonometría permite hacer la afirmación de que si tres mediciones perfectas ubican un punto en el espacio cuatro mediciones imperfectas pueden eliminar cualquier desajuste de tiempo, desde que ese desajuste sea consistente. Para explicar este principio se usa el siguiente razonamiento, suponiendo que el reloj del receptor no es perfecto como uno atómico si no que se adelanta un poco: si la del receptor está a una distancia equivalente a la recorrida por la luz en cuatro segundos desde el satélite "A" y a seis segundos del satélite "B" en dos dimensiones éstas dos distancias ubican al receptor en un punto "X" que es donde realmente estamos (Figura 3.5) esa posición se obtendría con dos satélites perfectos.



*Figura 3.5 En base a dos Satélites, el Receptor GPS calcula su ubicación (punto X).*

Por otra parte si el reloj del receptor está adelantado un segundo, señalaría que el satélite "A" está a cinco segundos y el "B", a siete segundos o sea, que ubicarían el receptor en XX, distinto de X (Figura 3.6) y esa posición se

aceptaría como perfecta puesto que no se sabría que el reloj del receptor esta adelantado un segundo.

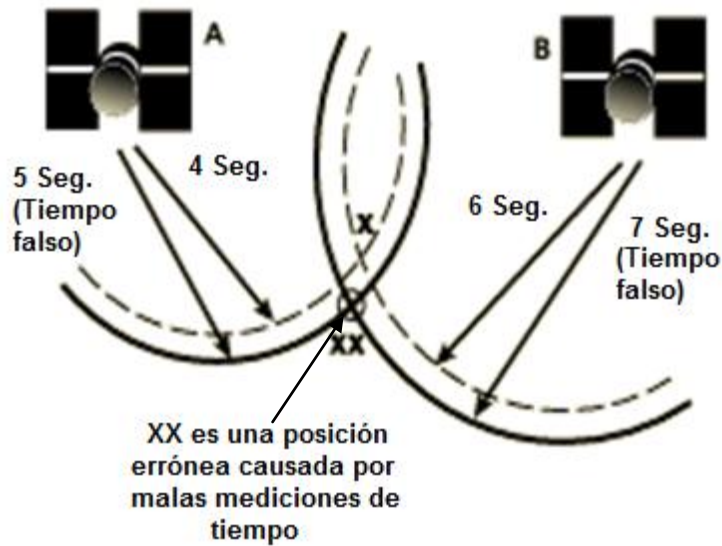
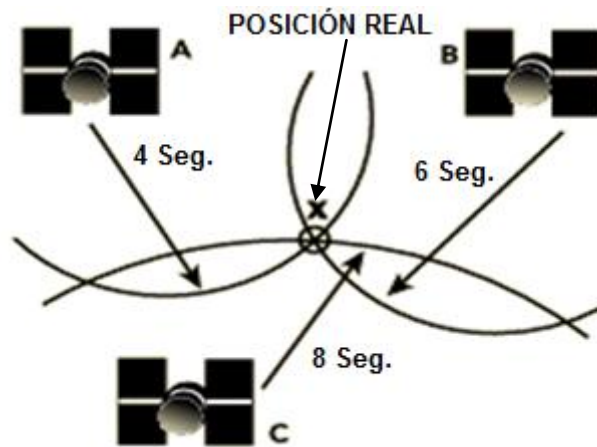


Figura 3.6 Cálculo de posición incorrecta (punto XX), reloj del Receptor GPS desincronizado 1 segundo.

La diferencia entre los puntos "X" y "XX" es el error que nuestros relojes imperfectos causan. Ahora bien si tomamos la distancia desde un tercer satélite "C" y ese satélite está a una distancia de ocho segundos del receptor considerando los relojes perfectos, la posición del receptor estaría en X en la (Figura 3.7).



*Figura 3.7 Ubicación del punto X con relojes sincronizados correctamente.*

En un mundo perfecto nuestra medición del tiempo se vería como este. Más adelante veremos cómo se puede eliminar el error que se genera en los relojes receptores.

#### 4. Posición de cada satélite en el espacio

Como ya se ha mencionado, los satélites transmiten una serie de valores orbitales (almanaque), que proporcionan la situación de los satélites, definiendo su órbita alrededor de la tierra. Esta información es recibida por los receptores GPS con la cual se puede predecir para un momento dado la ubicación del satélite que envía la información. El Departamento de Defensa de los Estados Unidos realiza un control permanente de cada satélite, para lo cual tiene establecidas una serie de estaciones de control y para tal objetivo cada satélite pasa sobre cada una de las estaciones de control dos veces al día; de esta forma se puede determinar su altitud, posición y velocidad logrando determinar

con esto los errores de “efemérides”, causados por la tracción lunar y solar y otros fenómenos celestes; luego de realizar los ajustes correspondientes se transmite la información al satélite, que luego emite esas pequeños correcciones junto con la información de tiempo. Por tanto, los satélites no solo transmiten los códigos para medir el tiempo transcurrido sino también información sobre su estado de salud y posición orbital exacta.

### **3.3 RECEPTORES GPS**

Los diferentes tipos de receptores que se encuentran disponibles en el mercado para uso civil han sido desarrollados en las diversas posibilidades de aplicación en lo que al sector usuario se refiere, según su importancia en el orden de prestación se presentan los siguientes.

#### **1. Receptores de navegación**

Económicamente son los más cómodos, usualmente son receptores muy pequeños y portátiles (Figura 3.8). En su pantalla aparecen las coordenadas en el sistema WGS-84, aunque algunos presentan la posibilidad de mostrar coordenadas en el sistema local. Teniendo en cuenta que estos equipos no son aptos para aplicar las técnicas diferenciales, donde un solo receptor bastaría, la precisión que pueden alcanzar no sobrepasa los  $\pm 10\text{m}$ . Algunos aparte de presentar las características ya mencionadas cuentan con la opción de

almacenamiento en memoria de datos observados facilitando con esto el procesamiento posterior de estos. En nuestro país, el Instituto Geográfico y Catastro Nacional (IGCN) los utiliza en las clasificaciones de campo.



*Figura 3.8 Receptores GPS portátiles de navegación.*

## 2. Receptores de posicionamiento mono frecuencia

Este tipo de receptor funciona en modo diferencial donde son utilizados dos receptores al mismo tiempo. Un receptor es ubicado en un punto con coordenadas conocidas al cual se le denomina receptor BASE mientras que el otro receptor se desplaza sobre los puntos que serán medidos, a este se le llama receptor ROVER o MOVIL. El receptor base se puede ubicar en un vértice geodésico o hay la posibilidad también de utilizar una estación CORS a través

de sus datos de Internet. La mono frecuencia significa que el receptor recibe solamente la onda portadora L1 (más adelante será explicada); con esto se pueden resolver ambigüedades menos potentes. Con un buen receptor de este tipo se puede llegar a precisiones submétricas en una distancia de 5 a 10 km, entre los dos receptores. En catastro se utiliza este tipo de receptores en sus mediciones de campo (Figura 3.9).



*Figura 3.9 Receptores GPS monofrecuencia.*

### 3. Receptores de posicionamiento doble frecuencia

Los receptores geodésicos de doble frecuencia como el que utilizaremos en el desarrollo de esta tesis, además de poseer las características de los anteriores agregan a la medición la onda portadora L2 (se explicará más adelante), dando un paso más hacia la disminución de errores sistemáticos, en especial los que se refieren a la dispersión de la señal en la Ionosfera, permitiendo así alcanzar

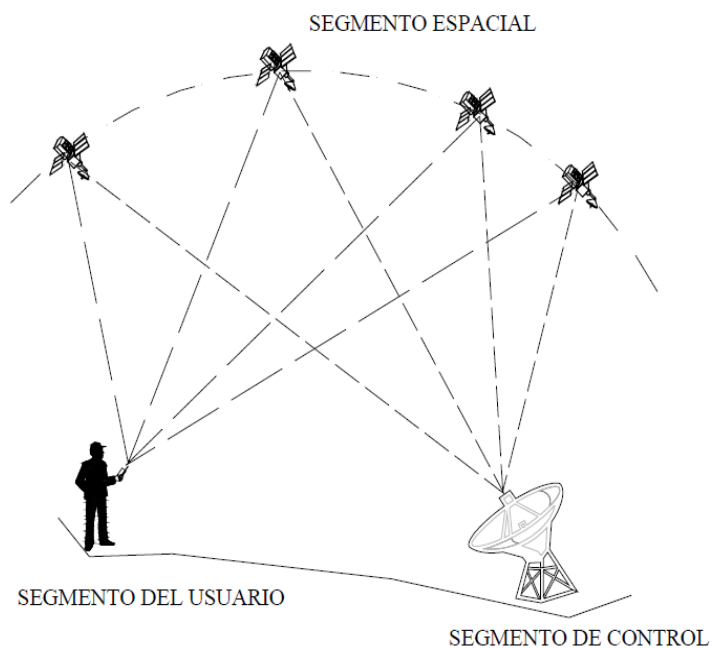
las mejores precisiones en mediciones con GPS. Este tipo de receptor está provisto de una antena con un trípode y un colector separado y enlazado por un cable a la antena. Su utilidad la encontramos en la densificación geodésica, levantamientos de detalles, replanteos, control de movimientos tectónicos, entre otros. Con los mejores equipos de este tipo puede llegarse a obtener precisiones de hasta  $\pm 5\text{mm}$ ,  $\pm 1\text{ppm}$ . El IGN los utiliza para la densificación de la red nacional (Figura 3.10).



*Figura 3.10 Receptores DGPS de doble frecuencia.*

### **3.4 COMPONENTES DEL SISTEMA GPS**

El Sistema de Posicionamiento Global GPS está compuesto por tres segmentos principales (Figura 3.11), el segmento espacial que se conoce como constelación NAVSTAR, el segmento de control y el segmento usuario.



*Figura 3.11 Componentes del sistema GPS.*

## 1. El Segmento Espacial

EL segmento espacial lo conforma una red de 24 satélites en órbita sobre el globo, a una altura de 20,200 km, con trayectorias sincronizadas para cubrir toda la superficie de la Tierra. Más concretamente, repartidos en 6 planos orbitales de 4 satélites cada uno. Las órbitas están orientadas de forma que hay una a nivel del Ecuador, dos órbitas formando  $55^\circ$  con el Ecuador y las 3 restantes son polares y equidistantes entre sí (Figura 3.12). Gracias a esta distribución, se pueden recibir señales de varios satélites desde cualquier punto de la superficie terrestre. El ciclo orbital es de medio día exacto (a nivel

astronómico) que son 12 horas sidéreas, equivalentes a 11 horas y 56 minutos en nuestra percepción temporal. La energía eléctrica que requieren para su funcionamiento la adquieren a partir de dos paneles compuestos de celdas solares adosadas a sus costados, con una superficie de  $7.25\text{m}^2$ . Cuando se desea determinar la posición, el receptor que se utiliza para ello localiza automáticamente como mínimo tres satélites de la red, de los que recibe unas señales indicando la identificación y la hora del reloj de cada uno de ellos.



*Figura 3.12 El segmento espacial GPS y su distribución.*

Las siguientes son algunas de las funciones que cada satélite realiza:

- Cada uno de los satélites en órbita emite una señal de referencia que, dependiendo del propósito, empleará una frecuencia portadora específica, emitiendo secuencia de código de ruido pseudo-aleatorio, sobre cada una de las frecuencias emitidas:

Para uso Civil: 1575,42 MHz (Banda L1)

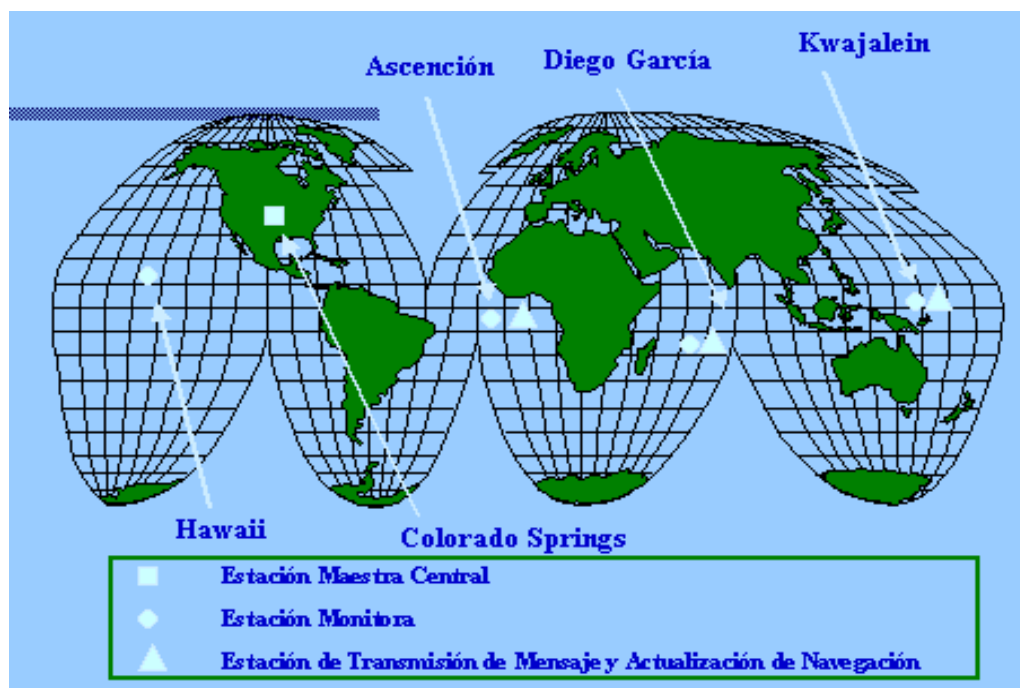
Para uso Militar: 1227,60 MHz (Banda L2)

- Recibir y recopilar información enviada por el segmento de control,
- Realizar cálculos restringidos en los satélites,
- Retransmitir información a la Tierra,
- Conservar una escala de tiempo muy precisa gracias a poseer relojes atómicos.

## 2. El Segmento de Control

El sistema de control terrestre, es llamado también *Sistema de Control de Operaciones*. En Tierra existen cinco estaciones de seguimiento y control las cuales están ubicadas en: Colorado Springs (estación de control principal), Hawaii, Ascención, Diego García y Kwajalein (Figura 3.13). Las orbitas de los satélites no son orbitas fijas pues estas varían debido a factores como el campo de gravitacional del sol y de la luna, por la presión de la radiación solar sobre los satélites y la atmosfera misma. La estación de control maestra calcula, con

los datos de las estaciones de seguimiento y control, la posición real de cada satélite en el espacio así como también la condición de deterioro que puedan presentar. Los errores que las estaciones de control corrigen son los llamados errores de efemérides, o sea evolución orbital de los satélites. Diariamente se envía información actualizada a cada satélite desde la estación maestra.



*Figura 3.13 Estaciones del segmento de Control.*

La operación de las estaciones de control está a cargo del Comando Especial de la Fuerza Aérea de Estados Unidos (Figura 3.14).



*Figura 3.14 Operadora de satélites de la constelación NAVSTAR-GPS, en la base Aérea de Schriever.*

### 3. El Segmento del Usuario

Este segmento, está conformado por todos los usuarios alrededor del mundo, civiles o militares (Figura 3.15). Por medio de receptores GPS los usuarios podemos recibir señales e información de los satélites y con una computadora determinar las pseudo-distancias o sea la distancia a los satélites. El uso civil de la información que se obtiene de los satélites puede tener una variedad de aplicaciones como pueden ser: la construcción de infraestructura, navegación en general (terrestre, aérea y marina), levantamientos geodésicos (topográficos y cartográficos), geodinámica y geofísica, etc. Un receptor GPS se compone de una antena con un calculador, un reloj de precisión y un decodificador de mensajes. En el caso de un GPS diferencial (DGPS), este se constituye de un receptor GPS, Un microprocesador para calcular los errores del sistema GPS y

para generar la estructura del mensaje que se envía a los receptores, posee un canal de datos unidireccionales hacia los receptores, por lo cual necesita un transmisor (estación monitorea) y por supuesto, el receptor que el usuario posee para recibir los datos.



*Figura 3.15 Usuarios del sistema GPS.*

### **3.5 SEÑALES Y CÓDIGOS GPS**

Las señales GPS se emiten en un ancho de banda superior al necesario para transmitir información, con el propósito de obtener precisiones altas en el tiempo real requerido para la navegación; amortiguar la cantidad de interferencia que son producidas actualmente y con esto asegurar que la conexión receptor (Usuario en tierra) y transmisor (satélite) pueda ser la más

estable posible. El hecho de que el ancho de banda sea superior al necesario para transmitir información hace que las señales GPS sean de amplio espectro.

Las dos frecuencias portadoras  $L_1$  y  $L_2$ , por sí mismas no aportan ningún tipo de información al receptor.

El sistema GPS obtiene la información a través de la modulación sobre estas frecuencias que portan estos dos códigos y un mensaje codificado.

Cada una de las frecuencias portadoras es un múltiplo de la frecuencia fundamental  $f_0 = 10.23$  MHz del oscilador atómico del satélite, a continuación un esquema de lo mencionado (Figura 3.16).

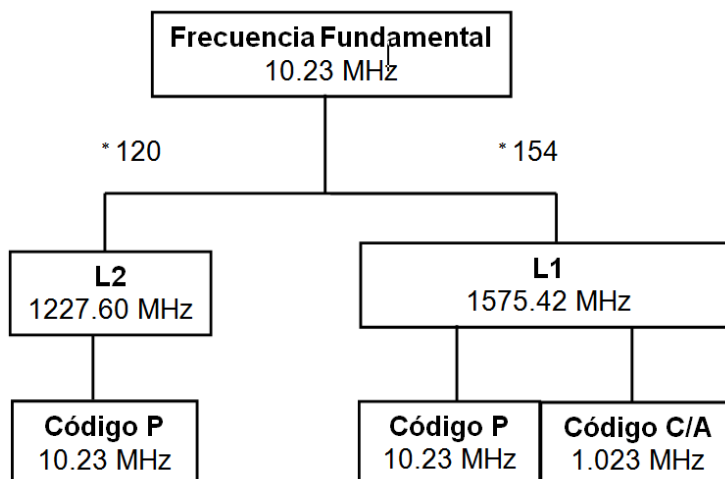


Figura 3.16 Frecuencias GPS.

Las señales de los satélites son transmitidas a baja potencia y son secuencias de código de ruido pseudo-aleatorio repetidas cada milisegundo en tres tipos de cadenas.

### Cadenas de Código GPS

El código pseudo-aleatorio transmitido se compone de tres tipos de cadenas:

- El código C/A (*Coarse/Acquisition o aproximado*), con frecuencia 1.023 MHz. y con una longitud de onda de 293m, utilizado por los usuarios civiles.
- El código P (*Posicionamiento preciso*), de uso militar, con una frecuencia 10 veces superior al código C/A.(10.23MHz) y con una longitud de onda 29.3m.
- El código Y, se envía encriptado en lugar del código P cuando está activo el modo de operación antiengaños.

Los satélites transmiten la información en dos frecuencias (Figura 3.17):

- Frecuencia portadora L1, a 1575.42 MHz, transmite los códigos C/A y P.
- Frecuencia portadora L2, a 1227.60 MHz. transmite información militar modulada en código P.

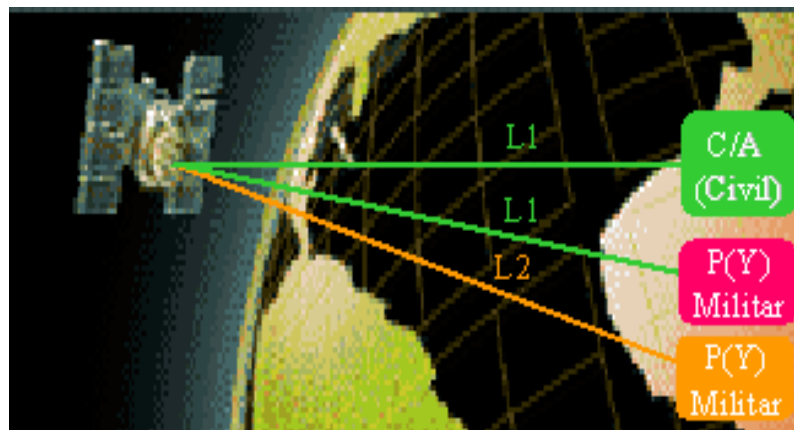


Figura 3.17 Señales transmitidas por los satélites GPS.

Además cada satélite transmite una señal de 50 Hz. en ambas frecuencias portadoras L1 y L2, que incluye las efemérides y las correcciones por desviación de sus relojes.

*Factores causantes de degradación en las señales.*

- ***Disponibilidad Selectiva(S/A Selective Availability):*** este tipo de degradación es voluntaria en el sistema GPS provocando errores de reloj y degradaciones en las señales de radio emitidas por el satélite en el apartado de: “efemérides, parámetros de reloj”.
- ***Anti Espionaje A/S (Anti-Spoofing):*** esta degradación también es del tipo voluntaria en el sistema GPS. El código P que describimos antes es codificado con esta clase de degradación, permitiendo prevenir el uso de transmisiones falsas por el enemigo. En el caso de que la degradación anti espionaje este activa el código P se convierte en código Y sumándole un código secreto nuevo W.
- ***Tipos de servicio:*** con las degradaciones antes explicadas se pueden derivar dos tipos de localizaciones.
  1. ***Servicio Preciso de Posición (PPS,*** es un servicio de gran exactitud para posicionamiento de uso exclusivo militar, disponible a nivel mundial y continuamente a usuarios autorizados por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos quienes deberán poseer el código

P para poder acceder a este tipo de señal sin degradación. Con este tipo de señal se puede obtener una precisión entre 15 a 20 m.

**2. Servicio Estándar de Posición (SPS)**, es un servicio disponible a todos los usuarios de GPS (militares y civiles) en una base mundial y continua, sin cuota directa. La exactitud del servicio SPS se puede degradar en épocas de emergencias nacionales. El código C/A permite el acceso al servicio SPS y proporciona sin degradación una precisión entre 20 y 40 m.

Cuando el sistema GPS es degradado por S/A o por A/S, los servicios PPS y SPS pueden proporcionar una precisión de 100m en planimetría y 150m en altimetría.

### **3.6 FUENTES DE ERROR EN GPS**

#### **INTRODUCCIÓN**

Como ya se ha comentado un poco en el apartado anterior, la precisión y medida de posición está sometida a varias fuentes de error que se pueden minimizar o modelar según los equipos y metodología de observación que utilicemos.

Estos errores se pueden clasificar en tres grupos:

- ❖ Errores relativos al satélite
- ❖ Errores relativos a la propagación de la señal en el medio
- ❖ Errores relativos al receptor.

### **3.6.1 ERRORES RELATIVOS AL SATÉLITE**

#### **Error en el reloj de satélite.**

Este error se genera debido al desfase que tiene el reloj del satélite respecto al tiempo GPS. Como se mencionó anteriormente los satélites poseen relojes atómicos con osciladores de Cesio o de rubidio, sin embargo aun esos relojes no son perfectos. Este error se puede eliminar mediante las correcciones contenidas en el mensaje de navegación que recibe cada receptor, luego las estaciones de seguimiento se encargan de actualizar la información. El efecto que este error puede llegar a tener en la precisión de las mediciones se estiman en 1m (un error de 1nanosegundo de imprecisión en el reloj del satélite produce 30cm en pseudo-distancia).

#### **Error en los parámetros orbitales del satélite.**

A esta clase de errores se les conoce también como errores de efemérides, afectan la determinación de la posición del satélite en un instante determinado con respecto a un sistema de referencia específico. Son errores originados en el caso de que no se conocen con exactitud las orbitas de los satélites y por consiguiente su posición. Para poder evitar este error su posición es actualizada cada hora a través de las efemérides precisas por las estaciones de control terrestre. El uso de GPS Diferencial contribuye en gran medida a disminuir esta clase de error. Es recomendado que en posproceso, se utilicen efemérides precisas para líneas base mayor a 10 km.

**Disponibilidad selectiva (SA)**

Como ya mencionamos este es un error causado a propósito por el Departamento de Defensa (DoD) de Estados Unidos, para el uso civil. La señal es afectada a través del estado de los relojes (dither) y los parámetros orbitales (épsilon). Se puede amortiguar este error haciendo uso de un GPS diferencial y líneas base no demasiadas grandes. Algunos escritos establecen que se introducían errores de 35 a 100m.

**Anti-Spoofing.**

Algo de este error ya vimos, pero podemos agregar que es el efecto de encriptar el código P en una señal conocida como código Y, sumando  $P+W$ , de tal forma que solo usuarios autorizados tengan acceso. La técnica utilizada para corregir este error es llamada corrección cruzada, basada en el principio de que el código "Y", transmitido por un satélite es el mismo en ambas frecuencias. Al establecer una relación entre los dos códigos "Y" en L1 y L2, luego son deducidas las diferencias de tiempo respectivas.

La diferencia de tiempos es igual al retardo que la frecuencia sufre en su paso por la Ionósfera. Al sumar esta diferencia de tiempo al código C/A de L1 se obtiene una medida de pseudo-rango conteniendo la misma información que la medida de código P en L2.

### **3.6.2 ERRORES DEPENDIENTES DE LA PROPAGACIÓN DE LA SEÑAL**

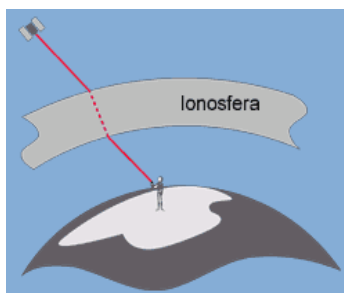
#### **Refracción Ionosférica**

En el mundo real existen una serie de circunstancias que pueden hacer que la señal del satélite sea matemáticamente imperfecta. La Ionosfera es aquella región de la atmósfera comprendida entre 100 y 1000 Km de altitud, donde las radiaciones solares y otras radiaciones ionizan una porción de las moléculas gaseosas liberando electrones, que interfieren en la propagación de ondas de radio y en la velocidad de la señal GPS generando un error parecido al error de un mal reloj. Durante la noche la influencia ionosférica es mínima incrementándose en el día (Figura 3.18).

El efecto en la precisión es de unos 10m los retrasos ionosféricos son menores en el cenit y aumentan cuando el ángulo de elevación disminuye (de ahí a la máscara de elevación en una observación). Pueden emplearse los métodos siguientes para corregir este retraso de señal; podría tomarse un promedio del efecto de reducción de la velocidad de la luz causada por la ionosfera y luego aplicar este factor de corrección a los cálculos pertinentes, aunque es de aclarar que esta condición promedio no ocurre todo el tiempo y el método no es la solución óptima. O también otro método que es el más recomendado y es el hecho de hacer uso de los receptores de “doble frecuencia”, con estos receptores se puede medir las frecuencias L1 y L2 de la señal GPS. Ayudara

también el hecho de incrementar la máscara de observación unos 15 grados que es lo normal.

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



*Figura 3.18 Refracción Ionosférica.*

### **Refracción Troposférica**

La Troposfera es la primera capa sobre la superficie terrestre (hasta unos 80 Km, aunque sólo en los últimos 40 se producen retardos significativos), donde se produce retardo y donde las temperaturas decrecen con el incremento de altura. El espesor de la Troposfera no es el mismo en todas las zonas. La presencia de átomos y moléculas neutros en la Troposfera afecta a las señales de propagación electromagnética (Figura 3.19).



*Figura 3.19 Refracción troposférica.*

Se tiene conocimiento que la refracción troposférica puede causar un error de entre 1.9m a 2.5m en la dirección cenital y se incrementa cuando disminuye el ángulo, puede llegar a unos 20m o 28m (insistimos en lo necesario de una máscara de elevación en una observación).

La refracción ionosférica y troposférica puede ser eliminada trabajando en modo diferencial, pero esto es sólo cierto para líneas base pequeñas, donde las medidas de distancias satélite-receptor se ven afectadas de igual forma por la refracción.

### **Pérdidas de ciclo**

Las pérdidas de ciclos suponen un salto en el registro de las medidas de fase, producido por alguna interrupción o pérdida de la señal enviada por el satélite. Estas pérdidas de ciclos pueden ser causadas por la obstrucción de la señal del

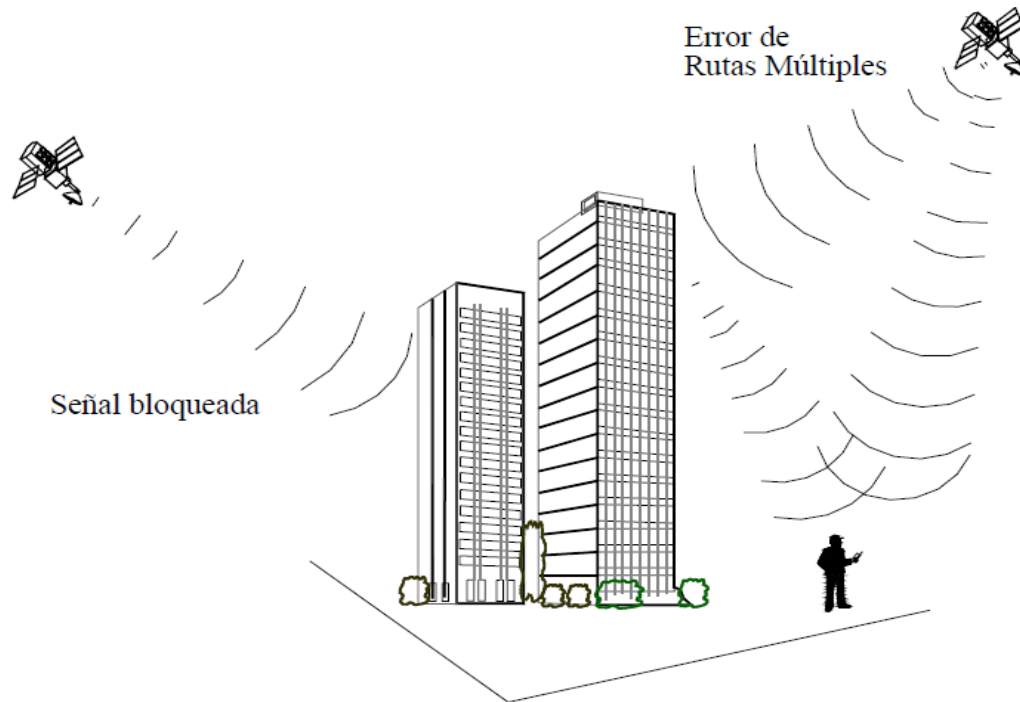
satélite debido a la presencia de árboles, edificios, puentes, montañas, etc. Esta causa es la más frecuente, pero también pueden ser debidas a una baja SNR (calidad, señal y ruido) debido a unas malas condiciones ionosféricas, efecto multipath, receptores en movimiento o baja elevación del satélite. Otra causa puede ser un fallo en el software del receptor, que conduce a un procesamiento incorrecto de la señal. Una última causa de pérdida de ciclo, aunque suele darse en raras ocasiones, es aquella debida a un mal funcionamiento del oscilador del satélite.

Una vez determinado el tamaño de la pérdida de ciclo, la reparación se hace corrigiendo a todas las observaciones de fase siguientes para este satélite y su portadora, según una cantidad fija. El software interno del receptor es capaz (in situ) de detectar y corregir las pérdidas de ciclo.

### **Multipath o Multitrayectoria**

El efecto multipath o multicamino es causado principalmente por múltiples reflexiones de la señal emitida por el satélite en superficies cercanas al receptor. Estas señales reflejadas que se superponen a la señal directa son siempre más largas ya que tienen un tiempo de propagación más largo y pueden distorsionar significativamente la amplitud y forma de la onda. Para poder reducir este error se deben elegir estaciones que estén libres de obstáculos como (edificios, vehículos, árboles, etc.), es decir, evitar las

superficies reflectantes en las proximidades del receptor y por un apropiado diseño de la antena, como es la utilización de planos de tierra, que reducen las interferencias de señales con baja elevación o incluso con elevación negativa, que son las que provocan el multipath; en otras palabras, se intenta reducir la intensidad de las señales secundarias y aislar a la señal directa (Figura 3.20). El efecto multipath puede llegar a provocar un error de hasta 1m.



*Figura 3.20 Error multipath o de multitrayectoria.*

### 3.6.3 ERRORES DEPENDIENTES DEL RECEPTOR

#### Estado de reloj de receptor

En el momento en que el reloj del receptor recibe la señal del satélite se genera un desfase en el mismo con respecto a la escala de tiempo. Este error afectará a todas las medidas de pseudodistancias realizadas para cada época. Los errores en los osciladores de los receptores pueden ser eliminados trabajando con posicionamiento relativo por medidas de fase, planteando las ecuaciones de dobles diferencias. Los receptores geodésicos y topográficos minimizan el error pues poseen relojes de mayor precisión.

#### Variación del centro de fase de la antena

Este error se genera cuando no coinciden el centro radioeléctrico o punto al que realmente llega la señal y el centro mecánico o físico, generando un error residual por excentricidad que puede ser de unos milímetros (Figura 3.21).



*Figura 3.21 Antena GPS.*

### **Incertidumbre de medidas**

Se conoce así al error que en una medida electrónica determinada se genera de forma aleatoria (puede ser el ruido). El error aleatorio es aquel que representa la desviación con respecto a cero de las medidas hechas. Puede establecerse un error por esta causa de entre 1mm o 2mm en condiciones ideales (geometría satelital, actividad atmosférica y obstáculos).

### **3.6.4 OTROS ERRORES**

Otros errores que podrían afectar un trabajo de medición con GPS podrían ser:

- Mal estacionamiento de la antena.
- Inexperiencia en la manipulación de los equipos.
- Desconocimiento de las coordenadas correctas de la estación, imprescindibles para la linealización de las relaciones de observación.

En la Tabla 3.1 se muestra un resumen de las fuentes de error en los GPS.

Tabla 3.1. Resumen de errores acumulados en una observación.

Error típico en metros por satélite		
Nombre del error	GPS autónomo	GPS Diferencial
Reloj de los satélites	1.5	0
Errores de órbita	2.5	0
Ionósfera	5	0.4
Tropósfera	0.5	0.2
Ruido del receptor	0.3	0.3
Multipath	0.6	0.6
SA	30	0
Precisión típica de la posición		
Horizontal	15	1.3
Vertical	25	2.0
3-D	93	2.8

### 3.7 OTROS SISTEMAS SATELITALES DE POSICIONAMIENTO

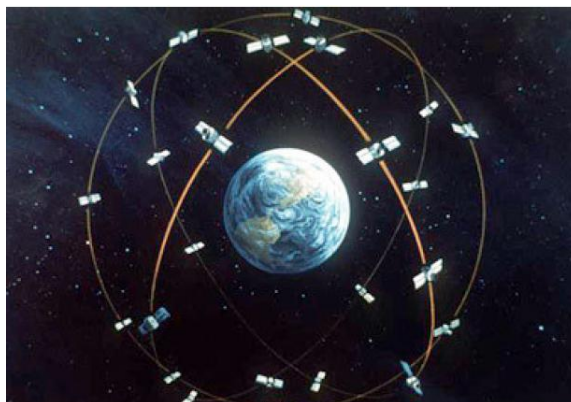
#### 1. GLONASS (Global Navigation Satellite System).

El sistema GLONASS es un sistema de navegación por satélite desarrollado en la antigua Unión Soviética y similar al GPS pero con importantes diferencias. Actualmente la responsabilidad del sistema es de la Federación Rusa.

Al igual que en el sistema GPS, existen dos señales de navegación: la señal de navegación de precisión estándar L1 (SP) y la señal de navegación de alta precisión L2 (HP). La primera está disponible para todos los usuarios tanto civiles como militares que deseen emplearla en todo el mundo, y permite obtener la posición horizontal con una precisión de entre 57 y 70 metros (99.7%

de probabilidad), la posición vertical con una precisión de 70 metros (99.7% de probabilidad), las componentes del vector velocidad con precisión de 15 cm/s (99.7% de probabilidad) y el tiempo con precisión 1s. (99.7% de probabilidad). Estas características pueden ser mejoradas empleando sistemas diferenciales similares a los empleados con GPS y utilizando métodos especiales de medida (medida de fase).

La constelación completa está formada por 21 satélites activos y 3 de reserva situados en tres planos orbitales separados  $120^\circ$  (Figura 3.22). Esto permite que sobre el 97% de la superficie terrestre se vean al menos 4 satélites de forma continua, frente a los 5 satélites (al menos) que pueden ser vistos en el 99% de la superficie terrestre si la constelación es de 24 satélites (GPS). De los 24 satélites de la constelación GLONASS, periódicamente se seleccionan los 21 que resultan dar la combinación más eficiente y los 3 restantes son dejados en reserva. Se ha planteado la posibilidad de aumentar la constelación a 27 satélites, de los cuales 24 estarían activos. Si uno de los 21 satélites operativos se avería, el sistema baja al 94.7% su probabilidad de éxito. El sistema de mantenimiento de la constelación prevé la activación de uno de los satélites en reserva o el lanzamiento de 3 satélites para sustituir a los averiados o ser dejados en reserva para usos futuros.



*Figura 3.22 El segmento espacial GLONASS.*

Cada satélite GLONASS describe una órbita circular a 19,100 Km respecto a la superficie terrestre con una inclinación de  $64.8^\circ$ . El periodo orbital es de 11 horas y 15 minutos. La configuración del sistema GLONASS proporciona datos de navegación a usuarios que se encuentren incluso por encima de los 2,000 Km sobre la superficie terrestre.

Tanto GPS como GLONASS comparten una filosofía básica en el sistema: medida de las pseudo-distancias y la velocidad radial por lo menos de cuatro satélites, junto con la información recibida a través de un mensaje de navegación o datos para determinar la posición de los satélites, lo cual permite plantear un sistema de ecuaciones, cuya solución proporciona los datos requeridos.

La tabla 3.2 muestra algunas diferencias entre GPS Y GLONASS.

Tabla 3.2 diferencia entre GPS y GLONASS.

	<b>GPS</b>	<b>GLONASS</b>
<b>Segmento espacial</b>		
Número de satélites	24 (4 por plano)	24 (8 por plano)
Planos orbitales	6	3
Relojes	1,023 y 10,23 MHz	0,511 y 5,11 MHz
Señal transmitida	Una frecuencia y múltiples códigos	Un código y múltiples frecuencias
<b>Sistemas de referencia</b>		
Escala de tiempos	UTC (USNO)	UTC (SU)
Sistema de coordenadas	WGS-84	PZ-90
<b>Segmento de control</b>		
Estaciones monitoras	Uniformemente repartidas	Sobre la antigua Unión Soviética

## 2. Sistema Europeo de navegación GALILEO.

El programa Galileo es una iniciativa conjunta de la Comisión Europea conjuntamente con la Agencia Espacial Europea. Multitud de empresas de distintos países de la Unión Europea han realizado inversiones, para los cuales se ha realizado concesiones para distintas partes del proyecto.

Galileo se ha planteado como un sistema que permita ser independiente a Europa del GPS y el GLONASS, pero que sea complementario a ambos y que permita la interoperabilidad con éstos. Cuando el proyecto esté completado se dispondrá de 30 nuevos satélites que conjuntamente con GPS y GLONASS permitirá obtener un posicionamiento muy preciso.

Galileo se compone de tres segmentos al igual que el GPS y GLONASS. El segmento espacial planificado de Galileo constará de 30 satélites, distribuidos

en tres planos de los cuales 3 serán de repuesto (Figura 3.23). Estarán situados a una altura de 3,222 km, con una inclinación de  $56^\circ$  sobre el ecuador, tardando 14 horas en completar una órbita a la Tierra, de tal forma que cada 24 horas se repita la constelación, que posee además simetría esférica. Dicho segmento además será interoperable con el GPS americano y el GLONASS ruso y podrán verse al menos 4 satélites en cualquier parte del planeta con un 90% de probabilidad, si bien en la mayor parte de las zonas del planeta entre 6 y 8 satélites serán visibles.



*Figura 3.23 El segmento espacial GALILEO.*

Un reto futuro de la navegación por satélite podría estar en la integración de GPS, GLONASS y GALILEO como sistemas independientes, de modo que el receptor escoja la mejor solución de navegación o una ponderación de estas, o mejor aún, como un sistema híbrido GPS-GLONASS-GALILEO, donde se compartan elementos físicos y de cálculo de los tres sistemas.

## **CAPÍTULO IV**

### **REDES GEODÉSICAS**

#### **4.1 INTRODUCCIÓN**

Es importante que el uso de la tecnología GPS brinde los resultados más precisos y deseables posibles de acuerdo al fin que se pretenda alcanzar. Para poder obtener información confiable es necesario contar con estándares internacionales que proporcionen una información común en cualquier parte del planeta en que vivimos. En el caso de nuestro país, un aspecto a tomar en cuenta es la relación de los resultados GPS con los sistemas de referencia y las proyecciones cartográficas utilizadas en el mundo.

El presente capítulo contiene algunos parámetros Geodésicos que son usados a nivel mundial, por ejemplo los “*Datums Geodésicos*” que han servido de base para la creación de las Redes Geodésicas en nuestro país.

Además se encuentran algunos métodos de medición o recolección de información con receptores GPS, exponiendo que cada método tiene su utilidad apropiada y su procedimiento correspondiente acorde al objetivo que se pretende alcanzar.

#### **4.2 DATUMS GEODÉSICOS**

Todos sabemos que la tierra no es esférica. Pero, no solo eso, ni siquiera es un cuerpo regular achatado por los polos. Esta irregularidad hace que cada país, o

incluso cada región, escoja el modelo de cuerpo (definible matemáticamente) que más se ajuste a la forma de la Tierra en su territorio. Este cuerpo suele ser un elipsoide, en el caso de nuestro país se usa el elipsoide *Clarke (1866)*.

Los diferentes elipsoides se diferencian unos de otros en sus parámetros, entre los que se encuentran:

- El radio mayor y menor del elipsoide (a y b)
- El aplastamiento del elipsoide ( $1/f = 1 - (b/a)$  )

Cada **Datum** está compuesto por:

- a) Un elipsoide,
- b) Por un punto llamado "Fundamental" en el que el elipsoide y la tierra son tangentes. De este punto se han de especificar longitud, latitud y el acimut de una dirección desde él establecida.

En el punto Fundamental, las verticales de elipsoide y tierra coinciden. También coinciden las coordenadas astronómicas (las del elipsoide) y las geodésicas (las de la tierra).

Definido el Datum, ya se puede elaborar la cartografía de cada lugar, pues se tienen unos parámetros de referencia.

### **Datum Norteamericano 1927 (NAD27)**

El Datum Norteamericano de 1927 fue adoptado en 1962, de acuerdo a las resoluciones de la Cuarta Semana Cartográfica Centroamericana, por ofrecer mejor precisión y ventajas sobre el Datum que se estaba usando anteriormente que era el Datum Geodésico de Ocoatepeque; este último había estado siendo usado durante los trabajos de delimitación de la frontera con Guatemala. Una comisión integrada por ambos países había adoptado el Datum de Ocoatepeque para efectuar trabajos geodésicos y cartográficos.

El NAD27 lo constituyen parámetros meramente geométricos (Tabla 4.1), el datum es bidimensional ya que no contempla la coordenada de altura y pese a su pretensión de alcance continental, es por su propia naturaleza un datum local definido sobre la superficie del elipsoide de referencia.

La altura geoidal ha sido definida arbitrariamente haciendo coincidir tal superficie con la del geoide con el punto Datum.

*Tabla 4.1 Parámetros básicos para el punto Datum (Meades Ranch) del NAD27*

Semieje mayor del Elipsoide	6,378,206.4 m
Semieje menor del Elipsoide	6,356,583.8 m
Latitud del origen	39° 13'26.686"
Longitud del Origen	98°32'30.506"
Desviación de La Vertical:	
En el Meridiano	-1.02"
En el Primer Vertical	-1.79"
Altura Geoidal en el origen	0.00
Acimut del origen a la estación Waldo, medido desde el Sur.	75°28'09.64"

### **Datum Norteamericano 1983 (NAD83)**

El Datum Norteamericano 1983 (NAD83), representa una redefinición del NAD27. La razón por la cual este sistema sigue siendo un datum horizontal, es porque en el proceso de reajuste no se consideraron como incógnitas las coordenadas de altura de los puntos. El propósito es contar con un sistema tridimensional.

El NAD83 se encuentra enmarcado dentro del GRS80 (Sistema Geodésico de Referencia de 1980) adoptado y recomendado por la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica, el cual se define en forma dinámica, haciendo coincidir el centro geométrico del elipsoide con el centro de masa de la Tierra con el agregado de 4 parámetros básicos.

*Tabla 4.2 Parámetros básicos para el punto Datum del NAD83.*

a) Semieje mayor del elipsoide	(6378,137 m)
b) Velocidad angular terrestre	(7292,115x10 <sup>-11</sup> rad/s)
c) Constante gravitacional newtoniana	(3986005 x 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> / s <sup>2</sup> )
d) Factor dinámico en su forma no normalizada J2' que representa el achatamiento terrestre sobre el campo gravitacional	(108263x 10 <sup>-8</sup> )
Mediante el empleo de estos parámetros es posible derivar todas las constantes físicas y geométricas que intervienen en los correspondientes cálculos geodésicos.	

## **El WGS-84**

El WGS-84 es un sistema de coordenadas cartográficas mundial que permite localizar cualquier punto de la Tierra (sin necesitar otro de referencia) por medio de tres unidades dadas. WGS-84 son las siglas en inglés de World Geodetic System 84 (que significa Sistema Geodésico Mundial 1984) y fue desarrollado por Estados Unidos de América en el año mencionado para el cálculo de las orbitas satelitales (Tabla 4.3).

Se trata de un estándar en geodesia, cartografía y navegación que data de 1984. Tuvo varias revisiones (la última en 2004) y se considera válido hasta una próxima reunión (aún no definida en la página web oficial de la Agencia de Inteligencia Geoespacial). Se estima un error de cálculo menor a 2 cm. por lo que es en la que se basa el Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

Consiste en un patrón matemático de tres dimensiones que representa la tierra por medio de un elipsoide, un cuerpo geométrico más regular que la Tierra, que se denomina WGS 84 (nótese el espacio).

Tabla 4.3 Parámetros básicos que definen el WGS-84.

- a) El Semieje mayor del Elipsoide ( 6378,137 m)
- b) La velocidad angular terrestre ( $7292,115 \times 10^{-11}$  rad/seg )
- c) La constante gravitacional newtoniana ( $3986005 \times 10^8$  m<sup>3</sup>/seg<sup>2</sup>)
- d) El coeficiente zonal armónico normalizado, que también representa al achatamiento terrestre sobre el campo gravitacional (C20) ( $-484.16685 \times 10^{-6}$ )

En consecuencia, el WGS84 está también definido dinámicamente, con el centro de masa terrestre coincidente con el centro geométrico del elipsoide y es tridimensional.

La información que los GPS proporcionan se puede procesar para luego obtener la altura elipsoidal “h”; esta representa la altura por encima o por debajo del modelo elipsoidal terrestre. La nivelación geodésica brinda la altura sobre el nivel del mar “H” (Figura 4.1)

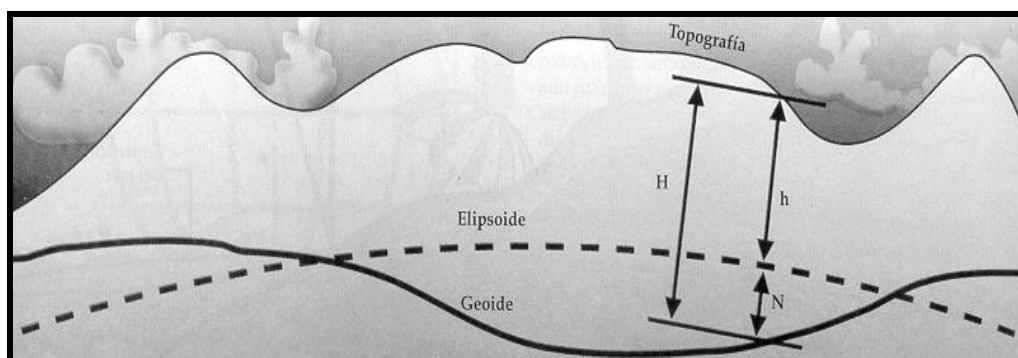


Figura 4.1 Representación de la altura elipsoidal.

Para la transformación entre estos sistemas de altura se requiere definir el modelo geoidal del país y la altura del geoide medida a partir del elipsoide N

que en la Figura 4.1 por encontrarse el geode por debajo del elipsoide el valor de N es negativo, se puede relacionar por medio de la ecuación.

$$h= H+N$$

### **4.3 RED GEODÉSICA NACIONAL**

Como ya se mencionó en el primer capítulo el Centro Nacional de Registro a mediados de la década de los 90's en su afán de modernización y renovación implementó un proyecto el cual consistió en establecer una nueva Red Geodésica de El Salvador (RGES), para lo cual se hizo uso de la tecnología de posicionamiento GPS enfocando como referencia el WGS-84.

La nueva Red Geodésica está compuesta por tres redes:

- Red de Referencia Salvadoreña (RRS)
- Red Geodésica Básica (RGB)
- Red de Densificación Salvadoreña (RDS)

#### **4.3.1 RED DE REFERENCIA SALVADOREÑA (RRS)**

Esta RRS a la vez está constituida por tres vértices geodésicos: Soledad, Escorpión y San Diego, ubicados en: San Salvador, Morazán y Santa Ana respectivamente. Como se puede observar cada vértice cubre cierta región del territorio nacional (Figura 4.2).

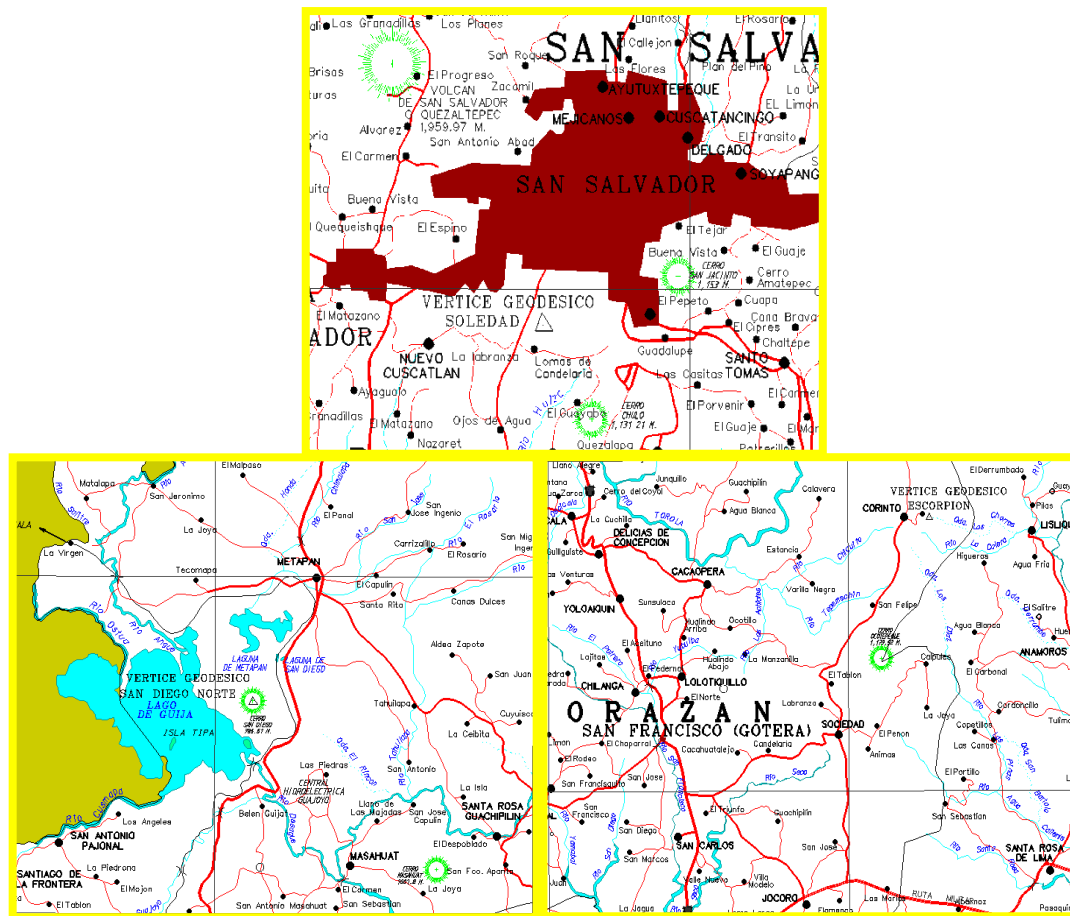


Figura 4.2 Vértices geodésicos de la RRS.

Para poder tener la posición verdadera de cada vértice se realizaron observaciones ocho horas durante nueve días en el año de 1998, los cálculos fueron realizados por National Imagery and Mapping Agency (NIMA). Estos cálculos se efectuaron, en base a estaciones GPS con operación continua (estaciones CORS) como: GALA (Isla Galápagos), BOGT (Bogotá Colombia) y MDO1 (McDonalds1, Estados Unidos). Los tres vértices, a los cuales también

se les conoce como “Gran Triangulo” se han vinculado a la estación CORS ubicada en el Aeropuerto de Ilopango, esta estación ha sido denominada *San Salvador Ilopango Airport (SSIA)* y de igual modo esta forma parte de la RRS (Figura 4.3)



*Figura 4.3 Estación CORS (San Salvador Ilopango Airport SSIA).*

Una estación CORS, es una estación GPS, la cual está rastreando información satelital 24 horas continuas durante todo el año y se encuentra en una zona estratégica (están distribuidas en todo el mundo). Con tal información y el sistema utilizado “*Sistema Internacional Earth Rotation Service Terrestrial Reference Frame 2000*” (ITRF00), calculan la velocidad de la Corteza Terrestre y a su vez los Desplazamientos de la Placa Tectónica; de esta manera se actualizan las coordenadas en el Sistema WGS-84.

### 4.3.2 RED GEODÉSICA BÁSICA

Como ya se mencionó en el primer capítulo; la Red Geodésica Básica la constituyen 16 vértices, con un tiempo de ocho horas de observación cada uno de ellos y dan cobertura a todo el territorio nacional. De igual forma, cada vértice de esta red fue observado con receptores GPS de doble frecuencia amarrándolos a las posiciones absolutas que ya se han descrito. Asimismo, al establecer las coordenadas de la nueva Red Geodésica se hizo con el Sistema Geodésico Mundial (WGS-84), estableciendo coordenadas geográficas de latitud, longitud y elevación; además, se transformaron a coordenadas planas (x,y) en el sistema de proyección Cónica Conformal de Lambert que es el usado en el país. En la Figura 4.4 se muestra el mapa de El Salvador con los vértices de la Red Geodésica Básica.



Figura 4.4 Red Geodésica Básica.

### **Vértices de la Red Geodésica Básica.**

- |                    |                |
|--------------------|----------------|
| 1. San Diego Norte | 9. Matarra     |
| 2. Ataco           | 10. Pista 97   |
| 3. Aguachapío      | 11. Taburete   |
| 4. Chiquileca      | 12. Jucuarán   |
| 5. Signal Hill     | 13. Guanaste   |
| 6. Soledad         | 14. Yayantique |
| 7. Los Menjivar    | 15. Conchagua  |
| 8. Dos Mil         | 16. Escorpión  |

### **4.3.3 RED DE DENSIFICACIÓN SALVADOREÑA**

Del mismo modo que la RRS ha servido de soporte para la creación de la RGB, ambas han servido de apoyo para la creación de la Red de Densificación Salvadoreña, para lo cual se han usado líneas base de 10 a 15 kilómetros, con el desarrollo de la Red de Densificación se está dando marcha a un proyecto de Modernización del Catastro Nacional.

Actualmente se tienen densificadas las Redes de los departamentos de Santa Ana, Ahuachapán, Sonsonate, San Salvador, La Libertad, La Paz, San Vicente, Usulután, La Unión y Cuscatlán; estando actualmente en el Departamento de Chalatenango. Con propósitos topográficos, a cada vértice se le asigna otro vértice, denominado Marca de Azimut (MKZ), el cual sirve de amarre-orientación en levantamientos tradicionales. La Figura 4.5 muestra la red de densificación de los departamentos de San Salvador y La Libertad.

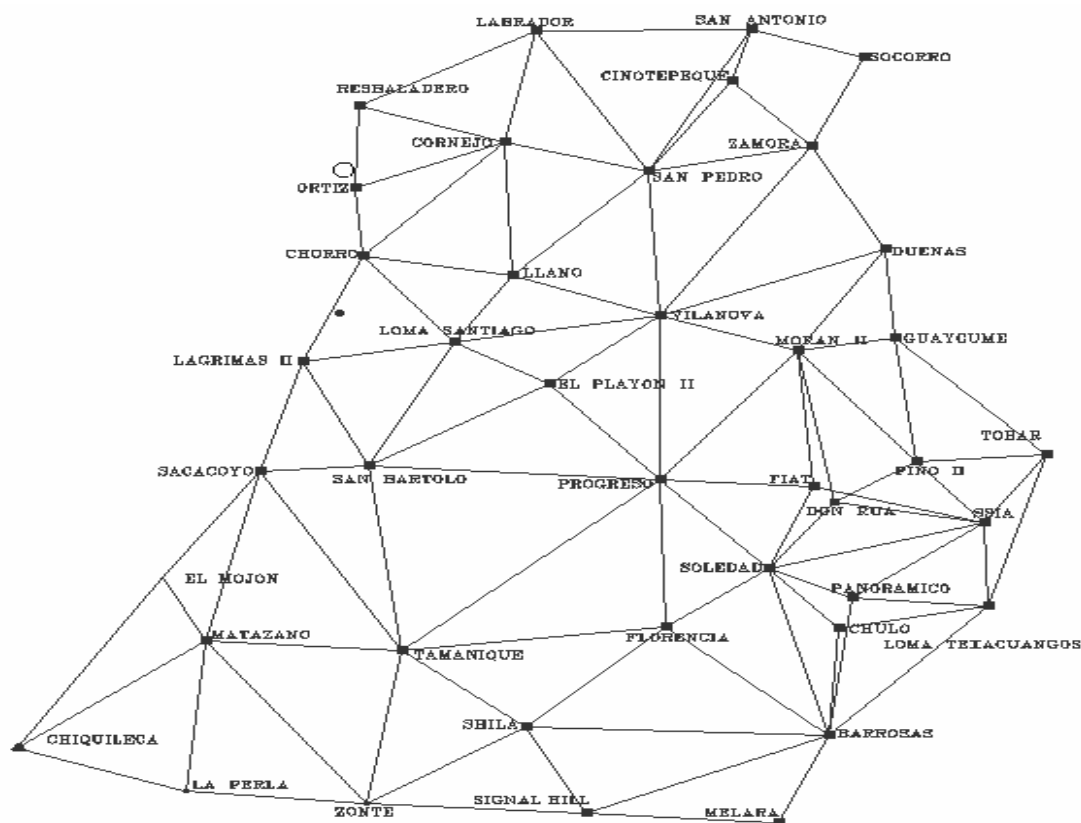


Figura 4.5 Red de Densificación de los departamentos de San Salvador – La Libertad.

#### 4.3.4 REDES GEODÉSICAS URBANAS

Dentro del radio urbano de cada municipio se crean las Redes Geodésicas Urbanas, las cuales están formadas por pares de puntos geodésicos que han sido referenciadas a las redes de densificación departamentales. La utilidad de estas radica en la importancia que representan particularmente para los levantamientos geodésicos ó topográficos que las instituciones privadas realizan.

Actualmente el Instituto Geográfico y Catastro Nacional (IGCN) ha logrado densificar todos los municipios de San Salvador, La Paz, San Vicente, Usulután, La Unión, Cuscatlán y San Miguel; actualmente se está trabajando en la densificación del resto de los departamentos.

#### **4.4 MÉTODOS DE MEDICIÓN CON GPS**

Hay muchos aspectos que influyen en la elección de una técnica de observación. Normalmente son los requerimientos de precisión, la distancia entre puntos, los costos y la información técnica de campo que se solicita (todos ellos relacionados).

##### **4.4.1 MÉTODO ESTÁTICO**

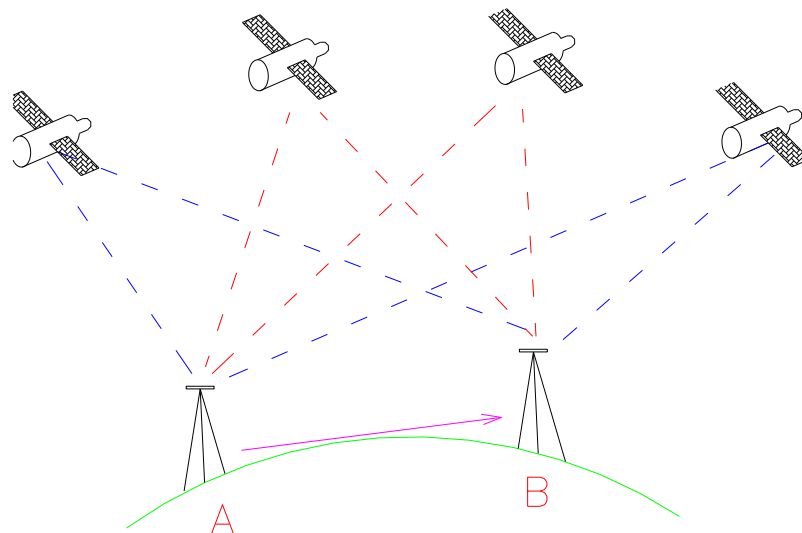
Este fue el primer método en ser desarrollado para levantamientos con GPS conocido también como **Posproceso**. Puede ser utilizado para la medición de líneas bases largas (generalmente 20km o más).

Se coloca cada uno de los receptores con que se cuenta en puntos cuyas posiciones fueron trazadas con anticipación auxiliándose mediante montajes de planos topográficos utilizando el software “Autocad Civil 3D” en Google Earth. También se apoya de otra herramienta llamada “Web Mission Planning” que se encuentra dentro del menú de la barra de herramientas del software “GNSS Solutions”, el cual nos brindará un panorama del estado de los satélites y valores de ciertos parámetros como son el PDOP (Disolución de la Precisión

con respecto a su Posición), de los satélites visibles en el lugar de trabajo y de esa manera programar el día y horas de trabajo.

Una vez llegado al campo se ubican cada uno de los GPS con que se cuenta aproximadamente en el lugar trazado en campo, según convenga; tomando en cuenta algunos aspectos tales como: el punto debe estar lo más despejado posible a su alrededor, libre de arboles y construcciones; accesible para llegar en vehículo; que no hallan líneas de alta tensión sobre él; ser intervisible con otro punto que se quiera dejar de amarre para realizar un levantamiento con equipo de Teodolito o Estación Total. Los datos de cada uno de los receptores son registrados en las estaciones en forma simultánea; brindando los mismos tiempos de grabación para cada uno de los receptores ubicados en cada estación. El tiempo de observación en cada estación dependerá de la longitud de la línea, el número de satélites que se estén observando en cada estación y de la Dilución de la Precisión (DOP) con respecto al tiempo, ubicación y geometría que son parámetros numéricos que influyen en la calidad de la observación y de los cuales explicaremos más adelante. Como regla general con líneas bases más largas requieren tiempos de observación más largos, a mayor distancia entre un punto y otro, corresponde más tiempo de medición, la relación es directamente proporcional (la figura 4.6 muestra un esquema de una línea base).

Cuando se ha registrado suficiente información, los receptores se apagan y se ubican en una nueva posición hasta cubrir todas las ubicaciones trazadas, posteriormente estos datos son procesados en conjunto con archivos de observación de ese día de trabajo proporcionados por estaciones CORS los cuales se utilizan como puntos de control para dar ubicación a las estaciones trazadas en el plano; mediante un programa llamado **GNSS Solutions** el cual nos permitirá posprocesar la información obtenida en campo por los receptores.



*Figura 4.6 Esquema de línea base.*

Esta técnica de medición no siempre es recomendable para levantamientos topográficos (debido al tiempo requerido de observación para cada punto, así como el costo). Entre algunos usos donde se utiliza esta técnica podemos mencionar:

- Determinación de Redes geodésicas de alta precisión milimétrica.
- Establecimiento de puntos de Control Geodésicos.
- Control de movimientos tectónicos y deformación de Volcanes.
- Establecimiento de poligonales cerradas.

#### **Parámetros a introducir al receptor en Método Estático**

- Altura de la antena vertical o inclinada (2.5m).
- Identificación de la estación (PT-01).
- Descriptor de la estación (PLG-1).
- Tiempo de Observación en minutos (40minutos o más)
- Intervalo de grabación( 10 ó 5 segundos)
- Máscara de Elevación( 10 ó 15 grados)

#### **4.4.2 STOP & GO (RTK, CINEMÁTICO EN TIEMPO REAL)**

El Stop & Go que traducido al Español, sería “Parar y Seguir”, es una técnica utilizada para ir a varios puntos y realizar ocupaciones estáticas en cada uno de ellos.

Cuando se inicia el trabajo la primer tarea es obtener las coordenadas geográficas (Latitud, Longitud, Elevación) de algún vértice geodésico de la Red Geodésica de El Salvador más cercano al proyecto de interés; luego se ubica en ese vértice el equipo Proflex 500 (ver Figura 5.3.3) que funciona como Base de Referencia, al cual se le ingresan las coordenadas del vértice, ésta Base se

comunica vía Internet con un programa llamado NTRIPCASTER que se encuentra instalado en el servidor de internet, del cual recibe correcciones para actualizar la posición de acuerdo al sistema WGS-84 y estas son transmitidas en tiempo real al receptor móvil llamado **Rover**, que recibe dichas correcciones a través de una conexión GPRS (Servicio general de paquetes vía radio) o EDGE (Velocidades mejoradas para la evolución del Sistema Global para las comunicaciones móviles), que transmiten información en paquetes los cuales requieren un ancho de banda alto, como los videos u otros servicios de multimedia. El Rover es manipulado por el topógrafo, quien se posicionará en cada uno de los puntos de interés del levantamiento durante 1 ó 2 minutos aproximadamente esperando que el receptor o Rover indique que ha pasado de estado flotante a estado fijo y así poder guardar la posición leída en ese momento.

El procedimiento de colocarse en cada punto y esperar que el rover pase de estado flotante a fijo se repetirá hasta terminar con todos los puntos de interés.

La gran importancia de este método es la capacidad de poder medir líneas bases en tiempos más cortos que el estático tradicional, pudiendo visitar varios sitios sin necesidad de tener que mantener todo el tiempo atrapada la señal de los satélites.

Distancia máxima entre la BASE y el ROVER 20 Km.

La precisión: (1cm + 1 ppm).

Esta técnica de medición es recomendable para:

- Densificación de redes
- Levantamientos de control
- Levantamiento de detalles
- Cualquier trabajo que requiera la determinación rápida de un elevado número de puntos.

#### **4.4.3 MÉTODO CINEMÁTICO. (RTK, CINEMÁTICO EN TIEMPO REAL)**

La técnica y el funcionamiento de este método es igual que el método **Stop & Go cinemático (RTK, Cinemático en Tiempo Real)**, con la diferencia que este es aplicado en los siguientes trabajos:

- Levantamiento de detalles en zona despejada
- Levantamientos de ejes de carreteras
- Medición de perfiles transversales

La técnica consiste en programar el receptor móvil llamado rover para que guarde lecturas de posición a lo largo de una línea continua cada cierto tiempo, podría ser cada 5 segundos para obtener el perfil de un eje de calle, cordón cuneta o sección trasversal. El rover siempre comunicado con la base desplazándose a una velocidad uniforme a lo largo de la línea de interés.

La precisión: (2 cm + 2 ppm). La Figura 4.7 muestra un receptor instalado con su respectiva antena dispuesto en un punto de poligonal para tomar lecturas de posición.



*Figura 4.7 Receptor en punto de poligonal tomando lecturas de posición.*

## **CAPÍTULO V**

### **ETAPAS DE DISEÑO DE LA POLIGONAL CON AMARRE GEODÉSICO EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

#### **5.1 PREPARACIÓN Y PLANIFICACIÓN**

El reconocimiento previo de campo del lugar donde se establecerá la poligonal con amarre geodésico es esencial para tener éxito en las observaciones. Previo a esta visita de campo trazamos una ubicación aproximada donde podría ser conveniente colocar cada mojón o clavo para la poligonal, auxiliándonos para ello del montaje en el plano topográfico de la Facultad de Ingeniería en el

programa Google Earth (Figura 5.1) y posterior a esto trazar en campo el lugar más conveniente donde se colocarán definitivamente los mojones, tomando en cuenta el día de la visita de campo aspectos importantes como: Colocar mojones intervisibles, dejarlos en lugares lo más despejados posible y que haya acceso hacia ellos tanto a pie como en vehículo, entre otros aspectos. Cuando se tuvo la ubicación de estos lugares y sabiendo la cantidad de mojones a colocar, se programó un día para su colocación en campo. Una vez que se situaron los mojones se hicieron las observaciones de cada uno utilizando el **Método Estático** para realizar la asignación de coordenadas de estos mediante un trabajo de posproceso que se realizará en oficina y así también otros dos días de trabajo adicionales, uno para dar posición a los mojones utilizando el método **Stop & Go** y el otro para hacer el levantamiento de la poligonal utilizando equipo de medición de Estación Total y poder así realizar una comparación con lo que se refiere a la distancia calculada entre un mojón y otro utilizando el Receptor GPS y **Estación Total**, también comparar la variación del valor de la coordenada de cada mojón utilizando el método de medición Estático y utilizando el método Stop & Go.



Figura 5.1 Montaje de poligonal en Google Earth.

En la imagen siguiente (Figura 5.2) se muestra la poligonal que será establecida en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador.

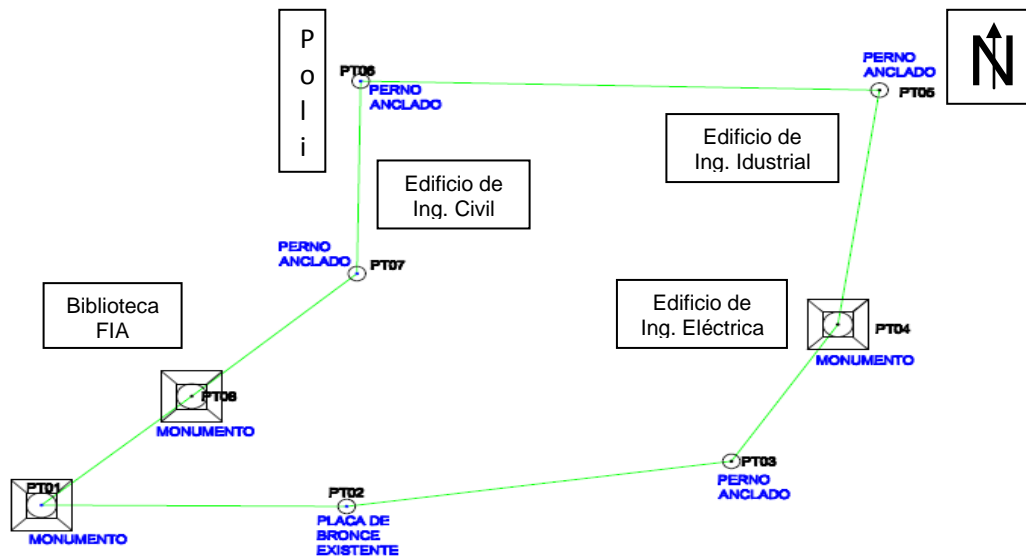


Figura 5.2 Esquema de poligonal en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

## 5.2 ESPECIFICACIONES GENERALES

En el diseño de la poligonal con amarre geodésico tomaremos muy en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Cada mojón debe ser intervisible con otro de la poligonal, que le sirva de amarre y dirección acimutal (Estación Total).
2. Cada sesión de observación al utilizar el Método Estático debe tener líneas bases comunes (al menos una) con otra u otras sesiones de observación que se realicen para cubrir toda la poligonal.
3. Los puntos que se encuentren en ubicación no muy despejada o rodeada de arboles, líneas de alta tensión y edificios se les debe asignar mayor tiempo de observación (método estático).
4. La ubicación que se asigne a los puntos de poligonal deben ser en lugares estratégicos libre de obstáculos.
5. El lugar donde se realice la medición debe poseer cobertura telefónica (en el Método **Stop & Go**), ya que las correcciones transmitidas al receptor en tiempo real se realizan a través de Internet por medio del chip telefónico de la compañía que brinda el servicio.

6. Colocar la base *Proflex 500* la cual servirá como Estación de Referencia, lo más cercano posible al lugar donde hará la medición por el método **Stop & Go**.
7. Para dar ubicación a los puntos que componen la poligonal utilizaremos como punto de control la estación CORS San Salvador Ilopango Airport (SSIA).

### 5.3 ELECCIÓN DEL SITIO

El GPS permite criterios de selección distintos de los clásicos, de tal forma que no tienen por qué estar instalados los vértices en elevaciones topográficas o torres con visibilidad mutua, sino ahí donde se los necesita. En lugares de fácil acceso con un horizonte que se halle obstruido lo mínimo posible. No son apropiados lugares en la cercanía de edificios altos, redes de alta tensión, torres de telefonía o cualquier elemento que pueda causar interferencia en frecuencia de radio, muros cercanos u otras superficies reflectoras que puedan causar multipath.

#### **5.4 RECONOCIMIENTO Y VALIDACIÓN**

Una vez trazada la poligonal en Google Earth, la cual sirvió para tener una idea por donde podrían quedar ubicados los puntos de la poligonal, se procedió a visitar los alrededores de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, donde se pretendía trazar la poligonal. Se ubicaron ocho puntos, cada uno intervisible con el que se encuentra adelante y atrás de cada posición, para facilitar el levantamiento con Estación Total, de los ocho puntos tres se monumentaron y los otros cinco se colocó un perno con ancla expansiva.

#### **5.5 DOCUMENTACIÓN DEL RECONOCIMIENTO**

Normalmente pueden ser diferentes operadores los que realicen la observación de los puntos de la poligonal en el levantamiento por el Método Estático, por lo que es fundamental realizar un documento claro con lo que respecta a la identificación de cada punto, por lo que se sugiere llenar la siguiente información para cada punto observado durante la etapa de campo.

- Nombre del proyecto.
- Día, Mes, Año, Juliano del año en curso y Número de sesión.
- Aparato, Operador, Punto medido y Altura de antena inclinada.
- Hora de inicio y Hora de fin.
- Elevación, Latitud Norte y Longitud Oeste.
- Comentarios.

## **5.6 COLOCACIÓN DE MOJONES DE CONCRETO PARA LA POLIGONAL BASE**

En esta etapa se procedió a realizar el colado de cada monumento y la colocación de perno con anclas expansivas. Para la Monumentación se abrieron tres agujeros los cuales tenían dimensión aproximada de 50.00 cm de ancho por lado con una profundidad de 40.00 cm aproximadamente; una vez realizados los agujeros se colocó la armadura del monumento y se realizó una mezcla de concreto en proporciones 2:2:1 (2 porciones de grava, 2 porciones de arena y 1 porción de cemento, que equivale a una resistencia de concreto 210Kg/cm<sup>2</sup>) introduciendo la placa de bronce que contenía un pin con rosca en la parte de abajo la cual fue colocada en el momento de realizar el colado y así el siguiente día desmoldar cada uno de los tres monumentos colocados. La Figura 5.4 muestra los perfiles tanto de un mojón como de un perno de los que fueron colocados.

En lo que respecta a los puntos donde no se colocó monumento se procedió a colocar un perno galvanizado de 3/8" con ancla expansiva a una profundidad de 10.00 cm aproximadamente.

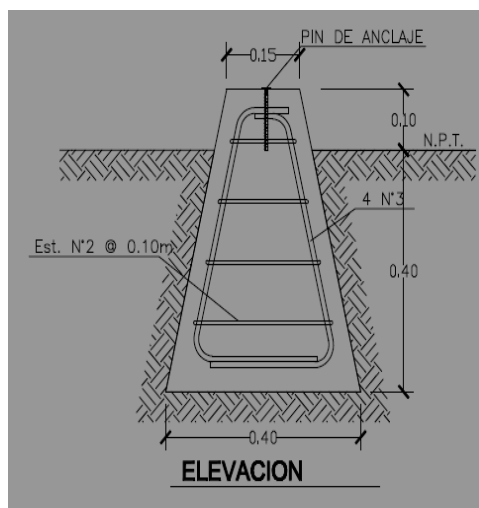


Figura 5.3.1 Perfil de mojón

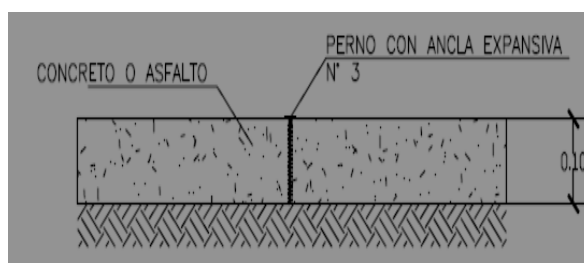


Figura 5.3.2 Perfil de perno anclado

Figura 5.3 Perfiles de perno y mojón usados en poligonal.

## 5.7 EQUIPO A UTILIZAR

Equipo utilizado en la medición:

- 4 Receptores GPS doble Frecuencia Promark200 de la Marca Ashtech
- 1 Base Proflex 500 de la Marca Ashtech
- 1 Computadora Portátil

El equipo mencionado con sus respectivos accesorios se muestra en la figura siguiente (Figura 5.4).

Figura 5.4 Imágenes del equipo receptor y todos sus accesorios.

Figura 5.4.1 Receptor GPS doble frecuencia



Figura 5.4.2 Antena de receptor y base Proflex 500

Proflex 500



Figura 5.4.3. Base Proflex 500.

Computadora

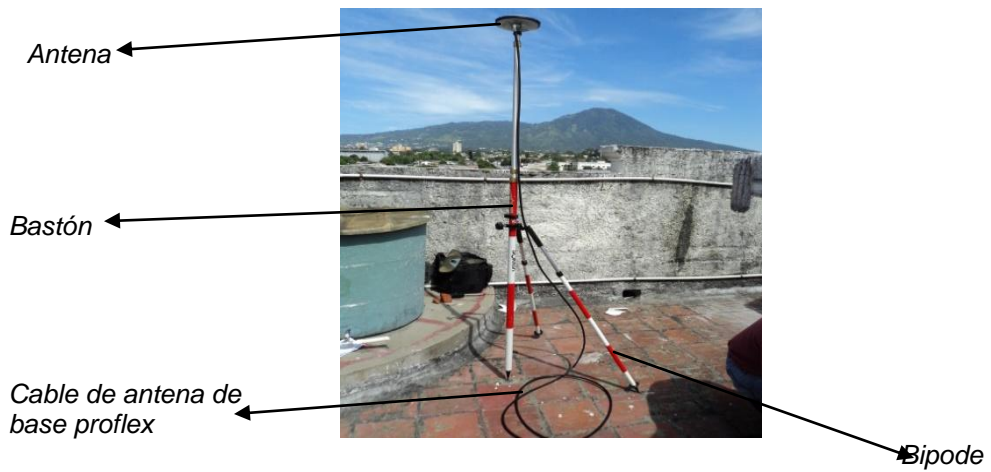


Figura 5.4.4 Vértice geodésico DRUA

*Figura 5.4.5 Portador de Receptor GPS*



*Figura 5.4.6 Fuente para corriente de Receptor*



*Figura 5.4.7 Cinta Métrica para Altura de Antena*



*Figura 5.4.8 Estuche de Equipo Receptor GPS*



## **5.8 MEDICIÓN DE LA POLIGONAL**

La medición de la poligonal fue hecha por medio de dos métodos, los que se describen a continuación:

### **5.8.1 MÉTODO ESTÁTICO**

Conocida la cantidad y ubicación de los puntos de la poligonal, en campo se procedió a realizar una programación de las sesiones de observación en cada uno de los puntos, tomando en cuenta los cuatro equipos disponibles que ya han sido mencionados, como se muestra en la tabla siguiente Tabla 5.1.

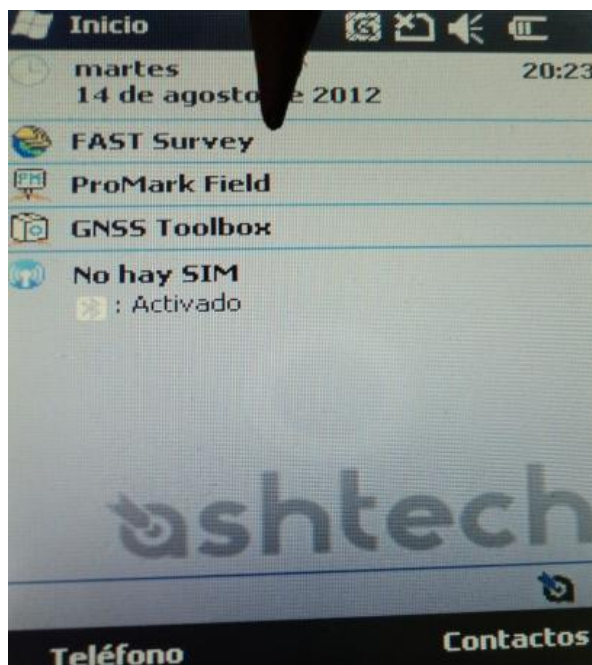
*Tabla 5.1 Sesiones de medición de poligonal.*

SESIONES REALIZADAS				
	SESION I			
NÚMERO DE RECEPTOR	1	2	3	4
PUNTO	PTO 8	PTO 2	PTO 1	PTO 3
TIEMPO DE OBSERVACIÓN (MIN)	40	40	40	40
	SESION II			
NÚMERO DE RECEPTOR	1	2	3	4
PUNTO	PTO 8	PTO 2	PTO 7	PTO 4
TIEMPO DE OBSERVACIÓN (MIN)	40	40	40	40
	SESION III			
NÚMERO DE RECEPTOR	1	2	3	4
PUNTO	PTO 8	PTO 2	PTO 6	PTO 5
TIEMPO DE OBSERVACIÓN (MIN)	40	40	40	40

Cuando ya se tienen definidas las sesiones a realizar, el siguiente paso es ejecutar la observación en cada uno de los puntos según la planificación establecida; en aquellos puntos en los cuales el horizonte no se encuentra libre de obstáculos como es el caso de los puntos PTO 2 y PTO 8 se estableció un tiempo de observación con mayor tiempo de lo planificado para obtener mayor información de dicho punto. Debido a que los satélites como es conocido están en movimiento, con un tiempo mayor es probable que el receptor en estos puntos más críticos logre captar mayor cantidad de satélites y por ende mejor señal.

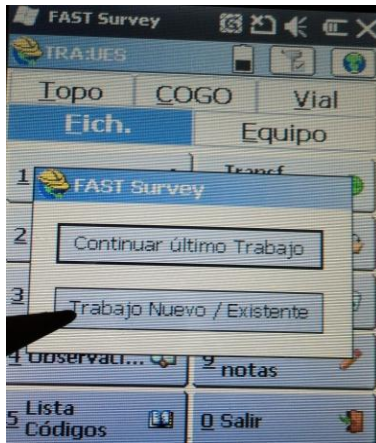
A continuación explicaremos paso a paso el camino a seguir para poder grabar en el Rover la observación realizada en cada punto.

- 1- Una vez colocado el equipo en el punto, seleccionar el programa FAST Survey (Figura 5.5).



*Figura 5.5 Selección del Programa FAST Survey*

- 2- Luego de ingresar al programa, creamos un trabajo nuevo, seleccionando **Trabajo nuevo/Existente** (Figura 5.6.1), el cual nos desplegará una pantalla en la cual seleccionaremos con el lápiz la parte inferior donde dice **Nombr** (Figura 5.6.2) introduciendo un nombre del trabajo nuevo mediante el teclado que se despliega; una vez digitado el nombre procedemos a seleccionar el símbolo ( ✓ ) que se encuentra en la parte superior en un recuadro verde.



5.6.1 Selección de trabajo nuevo

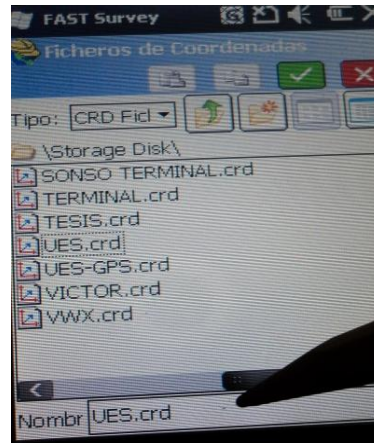


Figura 5.6.2 Nombre del trabajo a realizar



Figura 5.6.3 Teclado

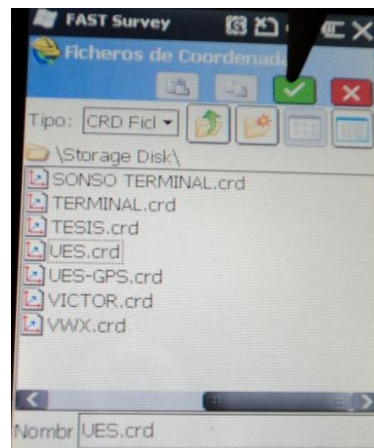


Figura 5.6.4 Seleccionar

Figura 5.6 Creación de un trabajo nuevo.

- 3- Posteriormente introducir algunos parámetros como son: distancia, ángulos, origen de azimuts y proyección, en los cuales se introducirán según muestra la Figura 5.7 y luego seleccionar el símbolo ( ✓ ) que se encuentra dentro del recuadro verde para su confirmación de aceptación.

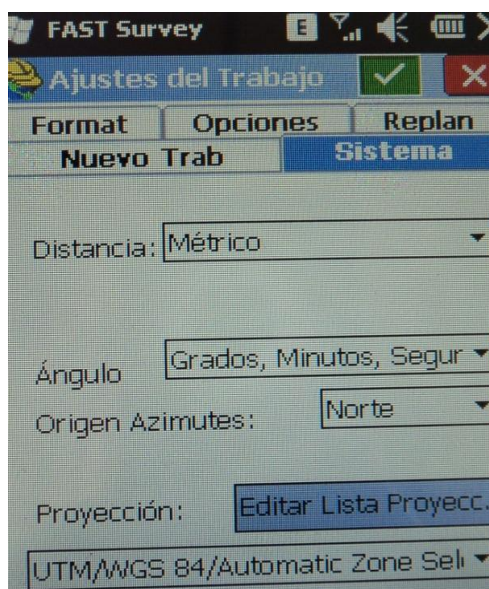


Figura 5.7 Introducción de parámetros

- 4- Luego del paso anterior nos desplegará en la pantalla una sección la cual contiene en la parte superior cinco fichas las cuales son: **TOPO**, **COGO**, **FICH**, **VIAL Y EQUIPO** cada una de éstas con submenús diferentes, en este caso seleccionaremos la ficha **TOPO**, la cual contiene en el submenú la opción **POS-PROCESO** que nos desplegará las siguientes opciones: **INICIAR FICHERO** y **GESTIONAR FICHERO** (Figura 5.8).

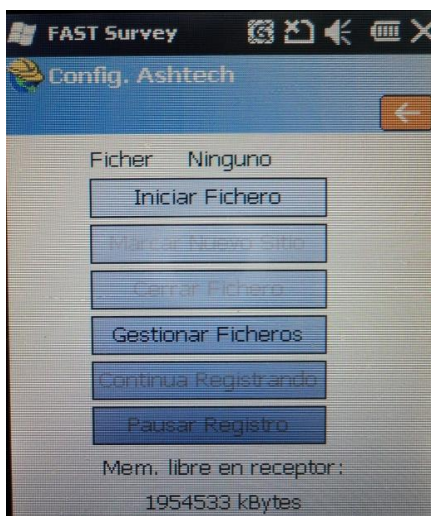


Figura 5.8 Menú desplegable de la opción **posproceso**.

- 5- Seleccionamos la opción INICIAR FICHERO, en la cual introduciremos los siguientes parámetros:

**Mascara de elevación**, la cual se define como un ángulo normalmente configurado en 15 grados. Si se rastrean satélites por encima de este ángulo, se evitará la interferencia generada por edificios, árboles y errores por trayectoria múltiple.

**Altura de antena**, esta puede ser inclinada (medida desde el borde del diámetro de la antena, hasta el punto proyectando una hipotenusa, o recta (medida desde el borde del diámetro de la antena hasta el punto, proyectando una paralela al bastón donde se encuentra enroscada la antena).

**Intervalo de grabación**, cada cuántos segundos se quiere grabar un dato de la posición del receptor transmitido por la señal de onda de los satélites,

durante el tiempo que dure la observación, en nuestro caso fue cada 10 segundos.

- 6- Después de ingresar estos parámetros se confirma su ingreso seleccionando el símbolo ( ✓ ) que se encuentra dentro del recuadro verde (Figura 5.9).

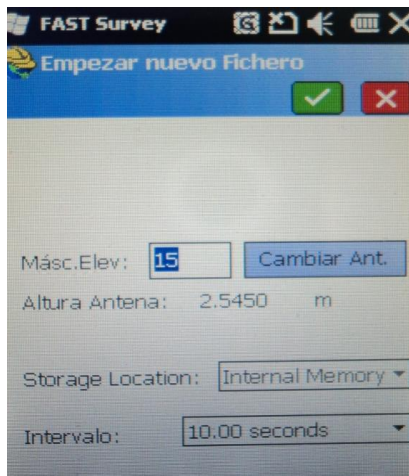


Figura 5.9.1 Introducción de parámetros

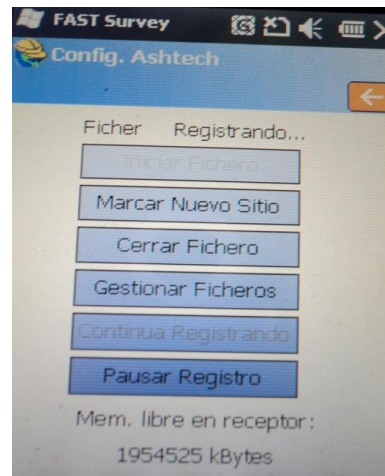


Figura 5.9.2 Marcado de nuevo sitio

Figura 5.9 Ingreso de parámetros y marcado de nuevo sitio.

- 7- Seleccione la opción **Marcar nuevo sitio** siempre estando adentro de la opción de POS-PROCESO, en el cual terminaremos de ingresar los siguientes parámetros:

**Nombre del emplaz**, el número del punto de la poligonal el cual se está observando. (1, 2, 3,..., etc.).

**Atrib de emplaz**, las iniciales de cómo identificaremos el punto (PT-1, PT-2, etc.).

**Detener registro**, este puede ser **manual** que se refiere que detengamos el registro en el momento que nosotros queramos, en el cual se le introduce el tiempo que se quiere que dure la observación y él se detiene automáticamente.

- 8- Después de ingresar estos parámetros se confirma su ingreso seleccionando el símbolo ( ✓ ) que se encuentra dentro del recuadro verde (Figura 5.10).

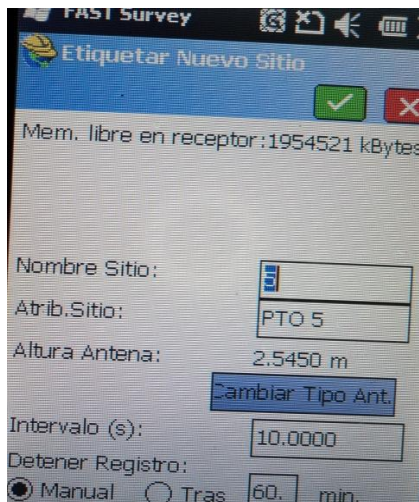


Figura 5.10.1 Etiquetando nuevo sitio

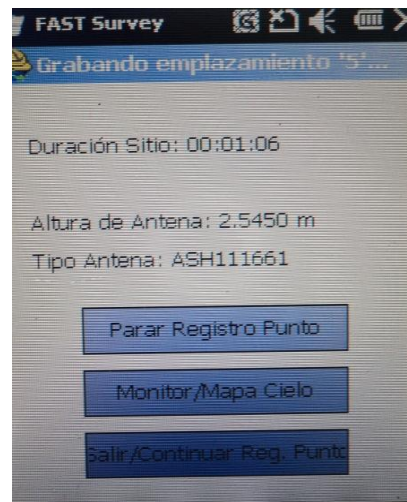


Figura 5.10.2 Grabando emplazamiento

Figura 5.10 Etiquetado de nuevo sitio y grabado de emplazamiento.

- 9- Después de detener el registro de puntos desplegará un mensaje en el que pregunta si se está seguro de detenerlo, seleccionamos **SI** y nos confirmara

que el registro del punto ha sido terminado, seleccionamos **OK** y por ultimo seleccionamos **Cerrar Fichero** y de esta manera queda detenido y guardado correctamente el archivo de observación o Fichero como es llamado también (Figura 5.11).

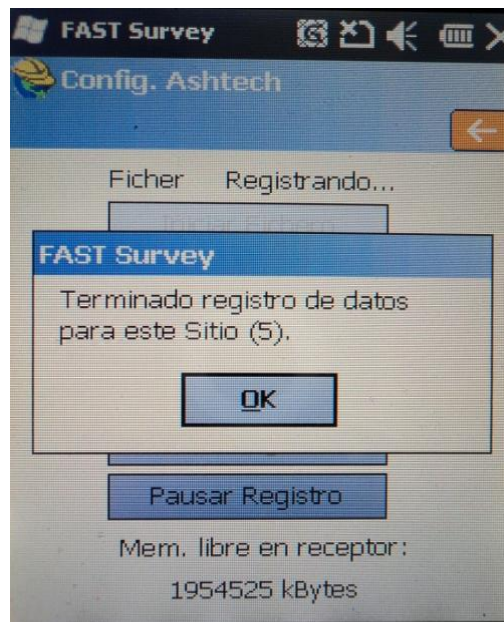


Figura 5.11 Deteniendo registro de datos.

10- Si queremos revisar el archivo guardado seleccionamos **GESTIONAR FICHERO** (Figura 5.12), se repetirá todo este proceso cada vez que cambiemos de punto y siempre dentro del trabajo que se creó al inicio de ingresar a FAST SURVEY.



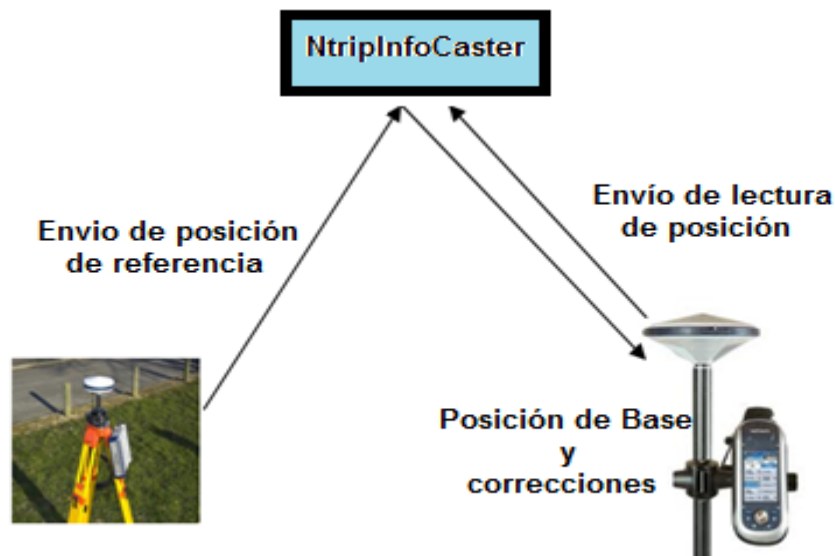
Figura 5.12 Revisión de archivo guardado en gestionar fichero

### 5.8.2 MÉTODO STOP & GO (RTK)

En la ejecución de este método intervienen tres elementos (Figura 5.13) los cuales son:

1. **NtripInfoCaster**, es un Software instalado en un servidor de internet que usa el sistema operativo Linux, el cual se encarga en enviar las correcciones en tiempo real al Receptor GPS conocido como Rover.
2. **Base Proflex 500**, también es un receptor GPS que sirve de referencia para dar posición corregida en tiempo real al Rover y que generalmente se encuentra estático en un punto con coordenadas geográficas conocidas. La Base está en comunicación con el **NtripInfoCaster** a través de un elemento llamado *Internet/Phone* (chip telefónico).

3. **Rover (Receptor GPS)**, recibe correcciones en tiempo real de su ubicación o punto de interés del **NtripInfoCaster** teniendo como referencia la Base Proflex 500.



*Figura 5.13 Relación entre los elementos que intervienen en el método **Stop & Go**.*

Como primer paso para ejecutar este método se deben adquirir las coordenadas geográficas de un vértice geodésico que pertenezca a una red de densificación y que a la vez se encuentre en las proximidades del lugar donde se quiere hacer el levantamiento, entre más próximo se encuentre, la longitud de línea base (entre Base y Rover) es pequeña lo cual significa que se genera un vector más corto, esto facilita y hace que la transmisión de correcciones se genere en menor tiempo (el receptor tarda menos tiempo de pasar de estado flotante a fijo que es lo que se busca para poder tomar la lectura del punto de

interés). Generalmente es recomendada una línea base que no exceda los 14 kilómetros. Para la realización de esta tesis se adquirieron las coordenadas del vértice geodésico **DRUA** ubicado en las instalaciones del Colegio Don Rúa en el municipio de San Salvador y que pertenece a la red geodésica **San Salvador – La Libertad** que se mostró en el capítulo anterior.

Los datos de este vértice son los siguientes:

ID de Punto:	<b>DRUA</b>
Longitud:	<b>89°11'32.75270"</b>
Latitud:	<b>13°42'42.92786"</b>
Elevación:	<b>674.9650 m</b>

El segundo paso se refiere a que una vez ubicada la base se va al lugar de interés en donde se procederá a realizar el levantamiento con el receptor diferencial o Rover el cual funciona utilizando el Software *FAST Survey*.

Los pasos para la toma de lecturas en el Rover se listan a continuación:

- a) Crear un trabajo nuevo tal como se explicó en el Método Estático.
- b) Realizar la conexión del Rover con el Caster tal como se muestra en la siguiente (Figura 5.14).



Figura 5.14 Realizando la conexión del Rover con el Caster.

- c) Inicialización del Rover, ingresando a la ficha superior EQUIPO, luego a **Utilds Recep G...**, para seleccionar la opción **Static On The Fly Initialization** como se muestra en la Figura 5.15.



Figura 5.15 Inicialización del Rover.

- d) Ingresar a la ficha **TOPO**, la cual desplegará la opción **Levantam** que es donde se graba la posición de cada punto, una vez que el receptor pase de estado **Flotante a estado Fijo** (Figura 5.16), además ingresaremos el número del punto (**Pto**), descriptor (**Desc**) y altura de antena(**HT**) en el recuadro que se encuentra en la parte inferior. El punto es almacenado presionando el ícono que se encuentra en la parte superior izquierda del lugar donde despliega el estado Rover (**Flotante o Fijo**), sin olvidar que el punto debe ser guardado cuando el Rover se encuentre en estado **Fijo**.

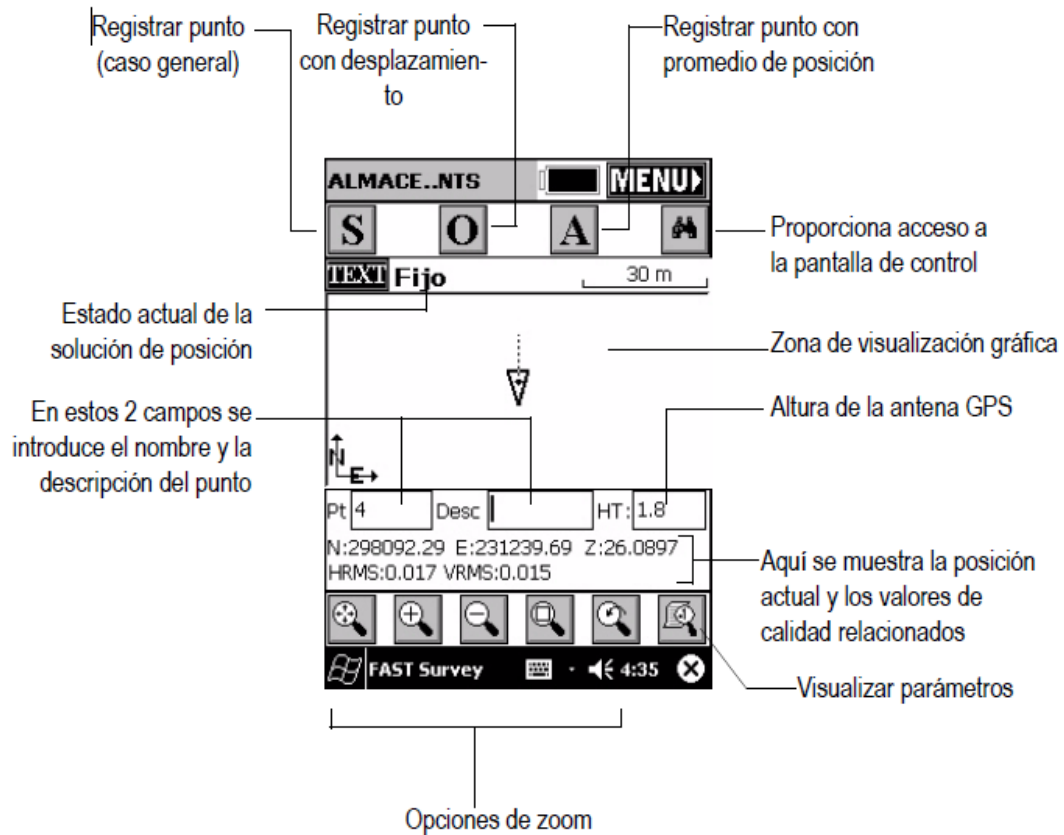


Figura 5.16 Almacenamiento de punto registrado.

Otra opción importante a la hora del levantamiento es la ficha **EQUIPO**, que contiene la opción **Monitor SAT** en la cual podemos visualizar parámetros importantes a la hora de la medición (ver Figura 5.17).

**HDOP** (Dilución de Precisión Horizontal), cuyo valor debajo de 2 indica un buen parámetro.

**VDOP** (Dilución de precisión vertical), cuyo valor debajo de 2 indica un buen parámetro.

**PDOP** (Dilución de Precisión de Posición), Se considera que los valores buenos para el posicionamiento son pequeños, como por ejemplo 3. Los valores superiores a 7 se consideran malos. Así, un valor PDOP bajo indica que los satélites están muy separados.

**TDOP** (Dilución de Precisión de Tiempo), Sincronización de relojes de Rover y Satélites.

**GDOP** (Dilución de precisión geométrica), la relación entre los errores de posición y tiempo del usuario y los errores en la distancia del satélite.

**Hemc** (Precisión horizontal)

**Vemc** (Precisión vertical)

Monitor SAT.		
Vista-SAT	Info-SAT	Ref
Calidad	Posición	
Estado:	FIJO	
Edad:	0.0 s	External
Satélites:	12	Antenna
Y Local:	262586.0723	
X Local:	309294.6401	
Altitud Local:	40.2736	
HDOP:	0.90	Reseteo
VDOP:	0.90	RTK
PDOP:	1.30	Desconectado
Hemc:	0.013	Conectado
Vemc:	0.012	GSM: En Línea

Figura 5.17 Estado fijo del receptor.

## CAPÍTULO VI

### TRABAJO DE OFICINA

#### 6.1 BAJADO DE DATOS CRUDOS DE LAS OBSERVACIONES PARA EL MÉTODO ESTÁTICO Y DESCARGA DE ARCHIVO DE CONTROL

La descarga de estos archivos se realizó mediante el software “**Centro de Dispositivos Windows Mobile**” que comunica el Rover con la Computadora para descargar el archivo de interés, los cuales son identificados por el Juliano del día que se hizo las observaciones (**G0008A12.213**) en nuestro caso el juliano 213 que corresponde al 31 de julio.

En cuanto a la descarga del archivo de la Estación CORS de Ilopango (**SSIA**), el cual será usado como Punto de Control para dar posición a los de la poligonal se realizo ingresando a la dirección electrónica <http://www.ngs.noaa.gov/CORS/> en la cual es necesario conocer el Juliano del día de la observación, tiempo que iniciaron las sesiones de observación con los rover, hora de finalización de la última sesión de observación y el Intervalo de grabación de cada observación, para que una vez descargados los archivos del Rover y la Estación CORS SSIA sean procesados en el software **GNSS Solutions**.

## 6.2 DESCARGA DE DATOS DE MEDICIÓN POR EL MÉTODO STOP & GO

Para descargar la información obtenida por este método se ingresa al software Fast Survey que es el utilizado por el dispositivo Rover y se selecciona la opción **Fich** la cual desplegará otra opción llamada (**Observaci...**) y al ingresar a ésta se encuentra la opción **RAW**, en el cual seleccionamos el nombre del trabajo que se creó al ingresar al programa Fast survey el cual se encuentra con extensión rw5, para posteriormente ingresar a la opción **Procesar GNSS** la cual nos permitirá guardar un archivo que contiene el listado de puntos del levantamiento **Stop & Go**, para posteriormente abrirse como **Bloc de Notas**.

## 6.3 PASOS PARA EL PROCESAMIENTO DE DATOS EN SOFTWARE GNS SOLUTIONS

El procesamiento de archivos de observaciones del Método Estático son realizados a través del software **GNSS Solutions**, en el se procesará cada uno de los vectores formados por los 8 puntos de la poligonal y al final ajustará la red proporcionando el mejor error de cierre en cada uno de las poligonales que se forman por los distintos vectores; los pasos para llevar a cabo este proceso son los siguientes:

- 1- Una vez ingresado al software GNSS Solutions asignar nombre al proyecto (tal como se muestra en Anexo B, Figura B.6).

- 2- Exportar cada uno de los archivos de observación almacenado en los 4 equipos utilizados durante el trabajo de campo, los cuales son almacenados con extensión que corresponde al juliano del día que se llevó a cabo las observaciones (ver Anexo B, figura B.7 y B.8).
- 3- Verificar los datos de cada archivo (ver Anexo B, Figura B.9) como son:
  - a) Emplazamiento que corresponde al ID o número de punto de la poligonal.
  - b) Fecha que se realizó la observación.
  - c) Estado del levantamiento, que sea Estático.
  - d) Altura de antena.
  - e) Lectura de antena Inclínada o vertical.
  - f) Modelo de la antena del receptor.
  - g) Tipo o Modelo de receptor.
- 4- Después de importar todos los archivos procedemos a procesar todas las líneas bases o vectores formados entre los puntos de la poligonal, mediante la opción (Procesar todas las líneas bases o F5), que se encuentra dentro de “Proyectos” de la barra de herramientas; verificando que cada vector tenga una solución “**Fijo**” (ver Anexo B, Figura B.12 y B.13).
- 5- El siguiente paso es ingresar a la opción “**Ajustar red**” siempre dentro de la opción “Proyectos” de la barra de herramientas (ver Anexo B, Figura B.21 y B.22). En este paso es importante que todos los vectores formados hayan

pasado el filtro de calidad que es; la **Prueba-Tau y Aj-QA** (ver definiciones en el glosario ANEXO G).

- 6- Una vez procesadas las líneas bases y ajustada la red chequeamos la Convergencia de Bucle que se refiere a todas las poligonales formadas por los distintos vectores, donde podemos revisar la mala convergencia o error de cierre de cada poligonal o bucle (ver Anexo B, Figura B.25 y B.26).
- 7- También podemos generar un informe de todos los procesos realizados el cual contiene datos como: Puntos registrados, Vectores procesados, Vectores ajustados, Puntos de control y Archivos.

## 6.4 CUADRO RESUMEN DE COORDENADAS WGS-84

### 6.4.1 MÉTODO ESTÁTICO

**Tabla 6.1 Resumen de coordenadas WGS-84 para Método Estático.**

ID de punto.	Lat.	Long.	Altura Elipse
PT0 1	13° 43' 12.11161"N	89° 12' 08.32659"W	692.542
PT0 2	13° 43' 12.00997"N	89° 12' 04.72020"W	691.405
PT0 3	13° 43' 12.71321"N	89° 12' 00.75885"W	689.349
PT0 4	13° 43' 14.70582"N	89° 11' 59.63424"W	689.687
PT0 5	13° 43' 17.11259"N	89° 11' 59.36632"W	685.914
PT0 6	13° 43' 17.65607"N	89° 12' 05.00540"W	686.263
PT0 7	13° 43' 14.95487"N	89° 12' 04.97754"W	691.628
PT0 8	13° 43' 13.35815"N	89° 12' 06.86866"W	692.366

SSIA	13° 41' 49.50537"N	89° 06' 59.74611"W	626.733
------	--------------------	--------------------	---------

#### 6.4.2 MÉTODO STOP & GO

Tabla 6.2 Resumen de coordenadas WGS-84 para Método Stop & Go.

ID de punto.	Lat.	Long.	Altura Elipse
PT0 1	13° 43' 12.11004"N	89° 12' 08.32638"W	692.483
PT0 2	13° 43' 12.00786"N	89° 12' 04.71960"W	691.349
PT0 3	13° 43' 12.71058"N	89° 12' 00.75780"W	689.316
PT0 4	13° 43' 14.70390"N	89° 11' 59.63328"W	689.633
PT0 5	13° 43' 17.11086"N	89° 11' 59.36532"W	685.849
PT0 6	13° 43' 17.65512"N	89° 12' 05.00430"W	686.179
PT0 7	13° 43' 14.95290"N	89° 12' 04.97778"W	691.548
PT0 8	13° 43' 13.35618"N	89° 12' 06.86904"W	692.290

#### 6.5 SISTEMAS DE REFERENCIA CARTOGRÁFICOS

Existen parámetros de transformación para el área de Centroamérica llamado Norteamérica Datum 1927 (NAD27); estos fueron calculados con observaciones Doppler, obteniendo los siguientes parámetros:

$$T_x = 0$$

$$T_y = 125$$

$$T_z = 194$$

Tales parámetros de transformación vienen incorporados en todos los software de transformación de coordenadas. Sin embargo, para efectos de precisiones el

IGCN (ahora dependencia del CNR) calculó sus propios parámetros apoyados en la red geodésica básica llamándose estos:

3 Parámetros El Salvador Lambert.

$$T_x = 0.00$$

$$T_y = 105.5$$

$$T_z = 197.2$$

Así también, se toman los siguientes sistemas de referencia cartográficos:

- ✓ Proyección Lambert Secante.
- ✓ Elipsoide de Clarke 1866

- $a = 6378206.4$  mts.
- $b = 6356583.8$  mts.
- $1/f = 294.97869821390$

Las observaciones se han realizado con la tecnología GPS, que utiliza un elipsoide internacional WGS-84 cuyas características son las siguientes:

#### **ELIPSOIDE WGS-84**

Semieje mayor	a	6378137.4 mts
Semieje menor	b	6356752.31 mts
Achatamiento	f	$1/f = 298.257223563$
Velocidad angular	$\omega$	$7.292115 \times 10^{-5}$ rad S <sup>-1</sup>
Constante gravitacional geocéntrica (Incluida la masa de la atmósfera de la tierra)	GM	$398600.5$ km <sup>3</sup> S <sup>-2</sup>

Coeficiente de potencial gravitacional  $C_2$   $-484.16685 \times 10^{-6}$   
 Normalizado al coeficiente armónico zonal  
 de Segundo grado.

## **6.6 PROYECCIÓN CÓNICA CONFORME DE LAMBERT UTILIZADA EN EL SALVADOR**

Dicha proyección por ser conforme significa que no altera a los ángulos en proyección y por ser cónica la superficie que se va a proyectar es un cono, para transformar las coordenadas tridimensionales al plano se sitúa un cono tangente al esferoide a lo largo de un paralelo de latitud escogido como origen. Como mejora en la distorsión por factor de escala, se sitúa dicho cono secante a dos paralelos secantes llamados “normales”.

La escala en una proyección Lambert varía de Norte a Sur, pero no de Este a Oeste. El sistema es ideal para representar regiones que abarcan grandes distancias en la dirección Este-Oeste. La elección de estos se determina de forma que se equilibre el error en escala en el origen con respecto a los paralelos de latitudes extremas.

Ahora bien, el sistema de representación plana para la Cartografía del país es la *Proyección Cónica Conforme de Lambert Secante*, cuyos parámetros de proyección son los siguientes (Figura 6.1):

- Longitud del centro de proyección      89° 00' OESTE
- Latitud del centro de proyección        13° 47' NORTE
- Latitud de paralelos normales:        13° 19' N  
14° 15' N

Para evitar coordenadas de cuadrícula negativas en cualquier punto se asignan coordenadas arbitrarias al origen.

Las coordenadas falsas son las siguientes:

- Coordenadas falsas de origen:
  - Falso Este = 500,000 mts
  - Falso Norte = 295,809.184 mts.

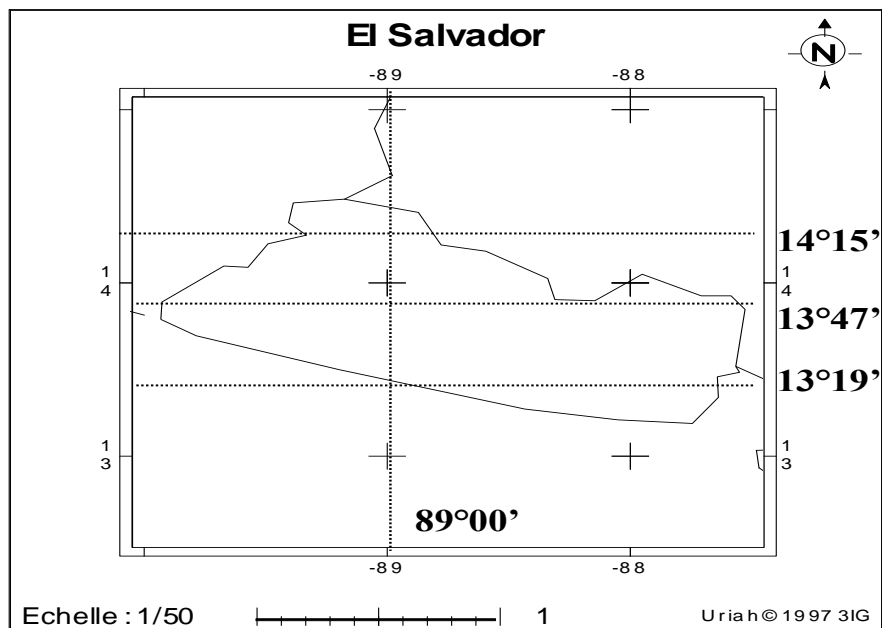


Figura 6.1 Parámetros proyectados para nuestro país.

Para transformar coordenadas WGS-84 a la Proyección Conformal de Lambert se utilizó el software *GEOCALC* para las coordenadas encontradas por el método **Stop & Go** y el software *GNSS Solutions* para las coordenadas encontradas por el **Método Estático**; en ambos software se configuraron los parámetros de transformación y la proyección cartográfica del país.

## 6.7 CUADRO DE COORDENADAS TRANSFORMADAS EN PROYECCIÓN CÓNICA CONFORME DE LAMBERT

### 6.7.1 MÉTODO ESTÁTICO

*Tabla 6.3 Cuadro de Coordenadas Lambert método estático.*

ESTÁTICO			
ID de punto.	NORTE	ESTE	Altura Ortométrica
PTO 1	288708.169	478115.992	691.019
PTO 2	288704.955	478224.342	689.883
PTO 3	288726.467	478343.376	687.827
PTO 4	288787.675	478377.215	688.165
PTO 5	288861.631	478385.326	684.390
PTO 6	288878.475	478215.919	684.738
PTO 7	288795.463	478216.686	690.104
PTO 8	288746.441	478159.827	690.842

## 6.7.2 MÉTODO STOP & GO

*Tabla 6.4 Cuadro de Coordenadas Lamber método Stop & Go.*

<b>STOP &amp; GO</b>			
<b>ID de punto.</b>	<b>NORTE</b>	<b>ESTE</b>	<b>Altura Ortométrica</b>
PT0 1	288708.1207	478115.9987	690.960
PT0 2	288704.8896	478224.3598	689.827
PT0 3	288726.3858	478343.4078	687.794
PT0 4	288787.6153	478377.2443	688.111
PT0 5	288861.5778	478385.3564	684.325
PT0 6	288878.445	478215.9515	684.654
PT0 7	288795.4014	478216.6787	690.024
PT0 8	288746.3795	478159.8158	690.766

## CAPITULO VII

### CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y ANEXOS

#### 7.1 CONCLUSIONES

El desarrollo de este tema fue una idea de acuerdo a las necesidades de conocer un poco más de la utilidad de la tecnología del GPS Diferencial de Doble Frecuencia en la aplicación a levantamientos y replanteos topográficos georeferenciados y que permita posteriormente ser aplicada.

De acuerdo al análisis, información recolectada, estudio del mismo y experiencia obtenidos a lo largo del desarrollo del presente proyecto se puede concluir.

❖ Durante la etapa de medición en campo se pudo comprobar que los pasos para el manejo y uso del equipo para la medición de la poligonal por los métodos *Estático* y *Stop & Go*, es de fácil adaptación y a su vez práctico en el desenvolvimiento en el momento de recolectar la información. Si se compara la aplicación de la tecnología de GPS Diferencial con el empleo de equipo tradicional (Teodolito y Estación Total), se puede decir que existe un beneficio muy significativo en el rendimiento de trabajo y personal empleado.

❖ También se constató que así como se cuenta con muchos aspectos a favor de la tecnología GPS Diferencial, existen algunos aspectos que no pueden pasar desapercibidos y que afectan el rendimiento óptimo entre los que encontramos puntos ubicados en lugares con horizonte obstruido que interfieren en la propagación de las ondas de radio de las cuales se alimenta el GPS en el momento de tomar lecturas de una posición. En nuestro caso fueron dos los puntos críticos y a los cuales se les asignó mayor tiempo de observación, estos fueron los puntos PTO 2 y PTO 8.

❖ De acuerdo a los valores de coordenadas obtenidas para cada punto de la poligonal, la diferencia de los valores en el Sistema WGS-84 entre un método y otro se encuentra en el orden de milésima de segundo que convertidas al sistema de Proyección Cónica de Lambert, representa una variación entre 7.00 mm y 8.00 cm, refiriéndose a latitud y Longitud ésta variación puede o no ser significativa dependiendo del tipo de trabajo que se vaya a realizar.

❖ Respecto a las distancias entre un punto y otro de la poligonal determinada por cada método de GPS y Estación Total, se puede decir que el rango de diferencia entre las longitudes varía entre 1.00 cm y 3.00 cm.

❖ No tomando en cuenta el método adecuado para cada trabajo y valorando cual de los dos métodos arroja los mejores resultados de las posiciones globales satelitales se valida el Método Estático, debido que en éste

Método es utilizada cierta información y parámetros que influyen en la confiabilidad para dar posición a los puntos de interés, de los cuales se pueden mencionar: tiempo de observación y estación de referencia usada.

❖ En cuanto a la elevación establecida para cada punto de la poligonal por los métodos *Estático y Stop & Go*, se puede observar una variación entre 3.00 cm a 8.00 cm, respecto a la altura elipsoidal. Para la altura ortométrica se puede decir que depende del modelo del geoide utilizado en el equipo con que se realice el trabajo ya que cada país se adecúa al modelo de geoide que mejor se ajuste a su región.

❖ En cuanto al cierre de las distintas poligonales formadas por las líneas bases o vectores se obtuvieron valores que van desde 1:10,000 hasta 1:3,000,000 observando valores de precisión de cierre más bajos en aquellos vectores en los que había más presencia del punto dos (PTO 2), el cual es un punto con un horizonte muy obstruido.

## 7.2 RECOMENDACIONES

Tomando como punto de partida las conclusiones anteriores podemos establecer ciertas recomendaciones:

- ❖ En busca de garantizar el buen desempeño de los profesionales de la Ingeniería Civil, se recomienda incorporar en los programas de estudio de la carrera, específicamente en las asignaturas técnicas electivas, la noción de geodesia y como se utiliza en nuestro país, con el propósito de actualizar sus conocimientos y tener herramientas para la solución a muchos problemas de la ingeniería en el área de geodesia.
  
- ❖ El Instituto Geográfico y del Catastro Nacional IGCN (dependencia del CNR) como ente rector de las normas de geodesia para diseño de redes geodésicas, le corresponde supervisar los trabajos desarrollados por instituciones privadas, las cuales carecen de equipo y conocimiento para proporcionar datos confiables.

- ❖ Nuestro país necesita una mejor difusión de la información geodésica y que este sea aplicado correctamente a una topografía tradicional, para proyectos de carreteras, urbanizaciones, y otras áreas afines a la ingeniería.
  
- ❖ A la Universidad de El Salvador, implementar cursos orientados sobre geodesia y sus aplicaciones en proyectos desarrollados en nuestro país.
  
- ❖ La enseñanza a estudiantes de topografía permitirá que los conocimientos básicos de la geodesia se hagan más populares por el efecto multiplicador que ellos hagan al utilizar esta nueva tecnología.

# ANEXOS

**ANEXO A****DIFERENCIAS ENTRE MÉTODOS DE LEVANTAMIENTO EN POLIGONAL**

## ANEXO B

### PASOS PARA PROCESAR LAS LOS ARCHIVOS DE OBSERVACION DE CADA PUNTO REGISTRADO EN EL METODO ESTATICO, A TRAVÉS DEL SOFTWARE “GNSS SOLUTIONS”

1) Descargar los archivos del Receptor GPS utilizando el software “Windows Mobile” instalado en el PC portátil o de escritorio, siguiendo los siguientes pasos:

a) Conectar el Receptor GPS en la computadora, al reconocerlo desplegara la siguiente pantalla:



*Figura B.1 Reconocimiento de dispositivo móvil en PC.*

2) Ingresar el icono de Dispositivo Portátil que se encuentra en el MENU DE INICIO de la PC.

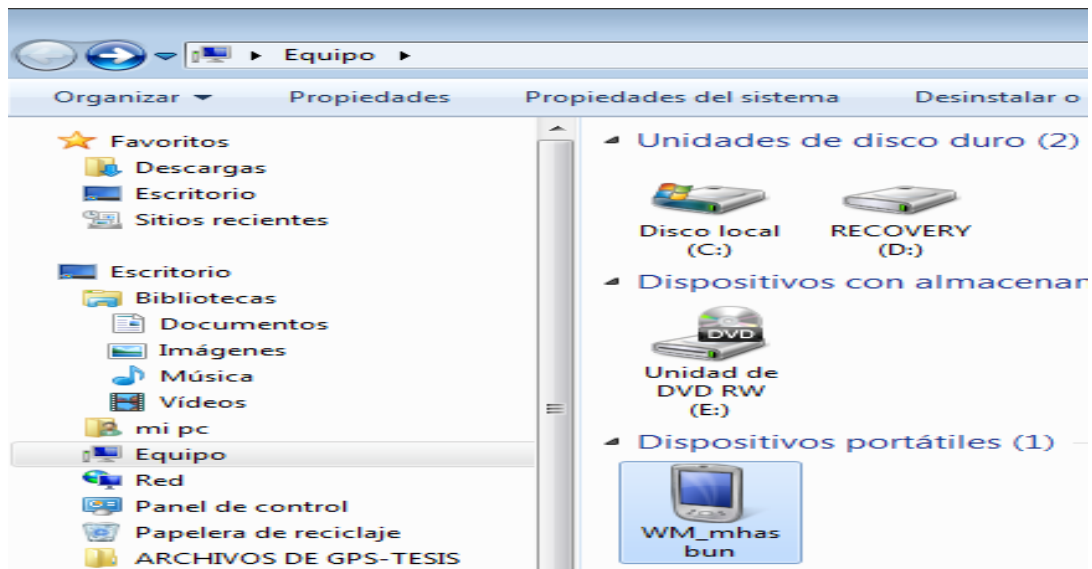


Figura B.2 Selección de dispositivo móvil en PC.

3) Seleccionamos **“Storage Disk”**

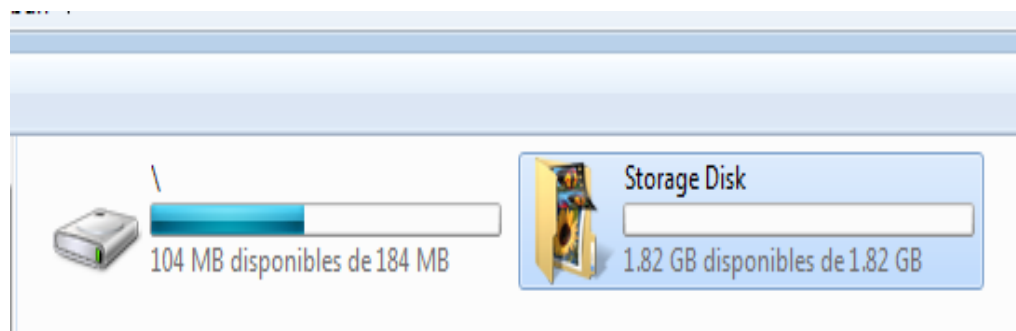


Figura B.3 Lugar de almacenamiento de archivo de observación en el Receptor GPS.

4) Dentro de la carpeta **“GNSS Raw Data”** se encuentran los archivos a procesar.

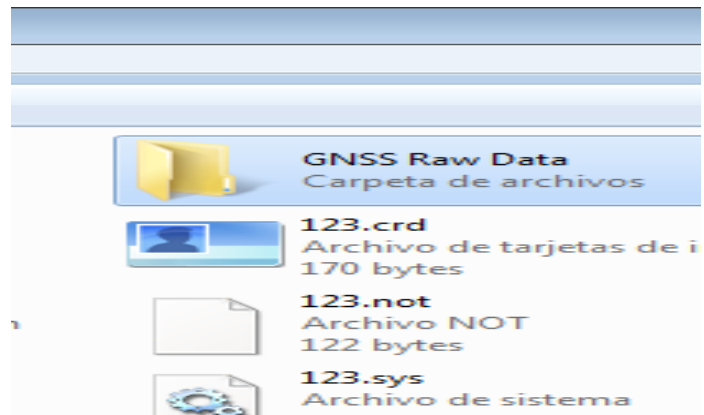


Figura B.4 Carpeta que contiene archivos de observación.

- 5) Una vez descargados los archivos de cada Receptor GPS ingresamos al software **"GNSS Solutions"**.



Figura B.5 Acceso directo en PC de software GNSS Solutions.

6) Asignar un nombre al proyecto que Trabajaremos, y seleccionar **“Aceptar”**

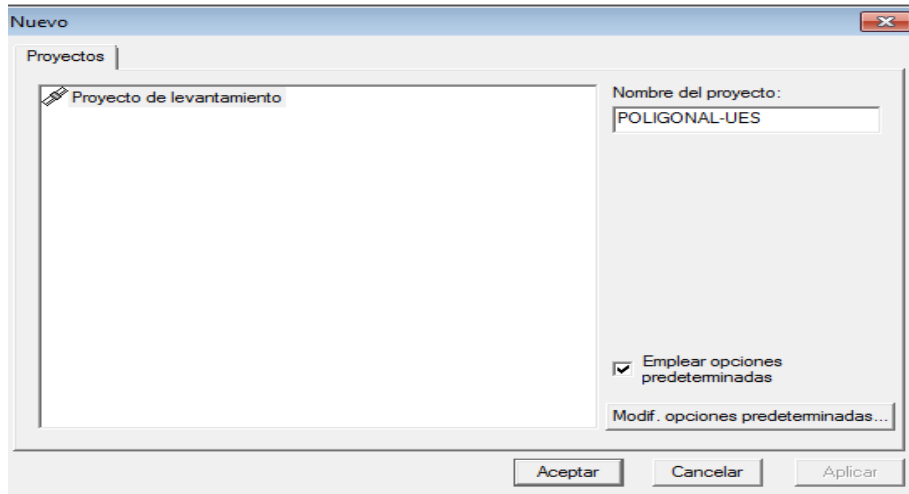


Figura B.6 Asignación de un nombre al proyecto a procesar.

7) Seleccionar la opción **“Importar datos brutos de archivo o dispositivos Promark/Proflex”**, en el cual tenemos que buscar el archivo de la observación donde este fue almacenado durante la descarga.

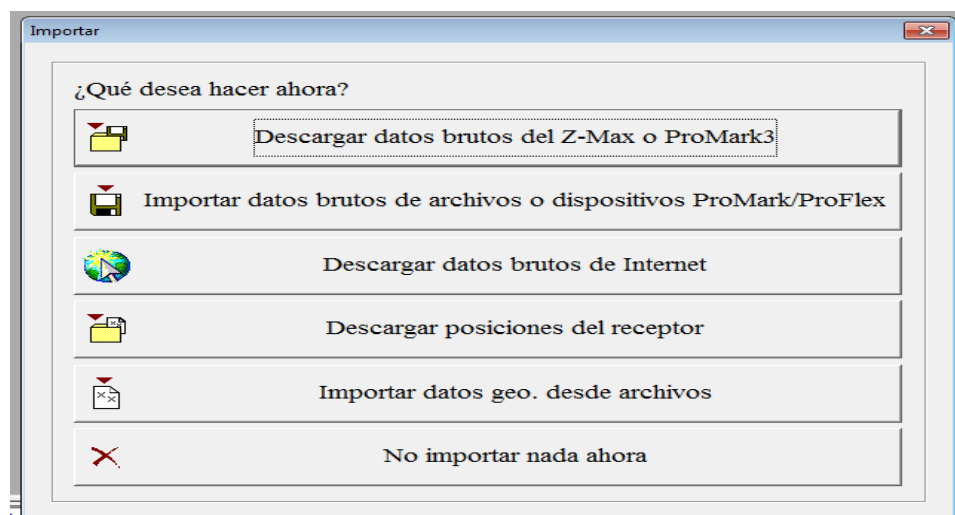
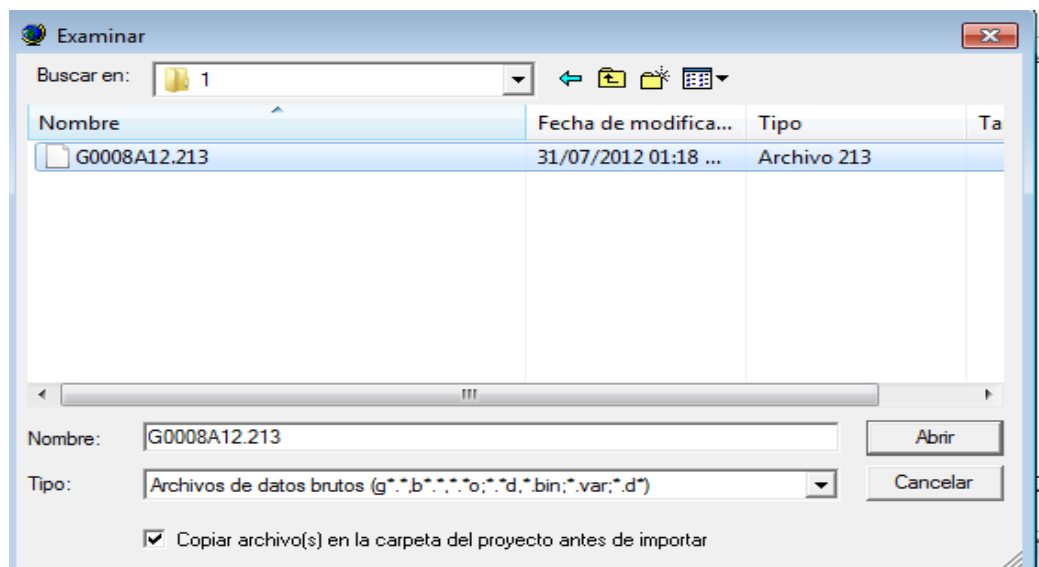


Figura B.7 Importación de archivos a proyecto.

- 8) Seleccionar los archivos a importar los cuales se identifican con extensión correspondiente al juliano del día que se realizó el trabajo de campo, y dar clip en “**Abrir**”.

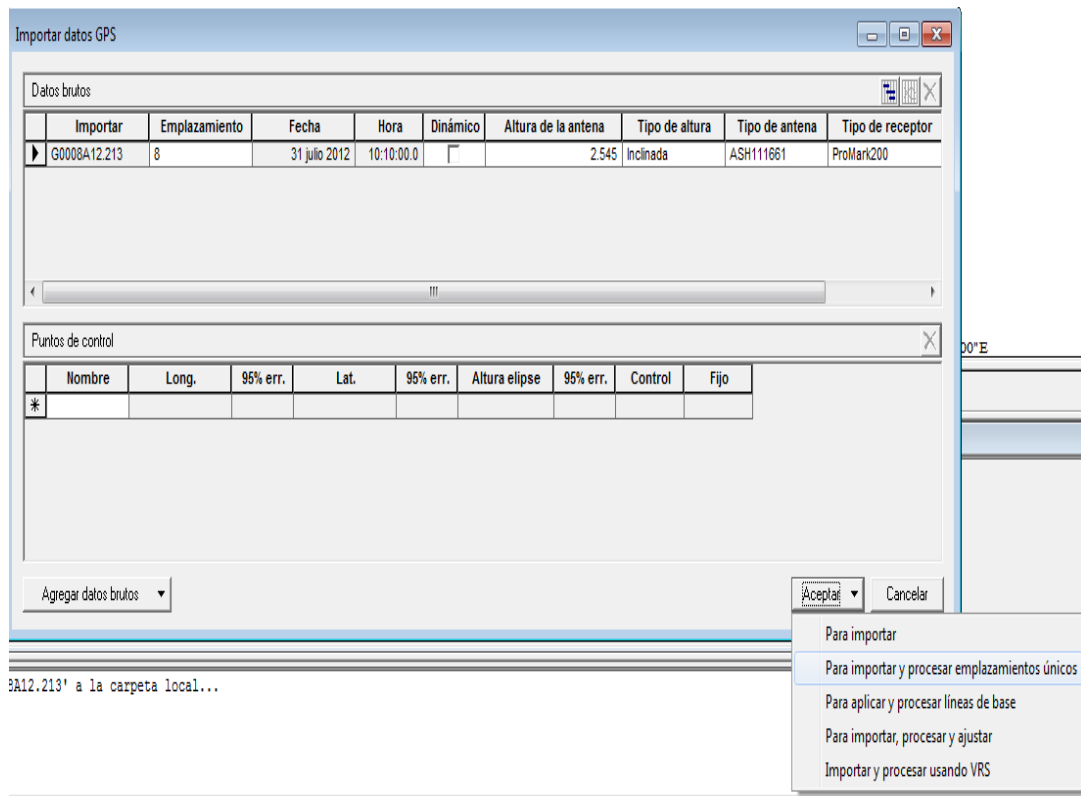


*Figura B.8 Búsqueda de archivo a importar.*

- 9) Al cargar cada archivo por individual verificar lo siguiente:
- Emplazamiento que corresponde al ID o # de punto de la poligonal.
  - Fecha que se realizó la observación.
  - Estado del levantamiento, que sea Estático.
  - Altura de antena.
  - Lectura de antena Inclínada o vertical.
  - Modelo de la antena del receptor.

g) Tipo o Modelo de receptor.

Unas vez revisadas, nos posesionamos en **“Aceptar”** y seleccionamos **“Para importar y procesar emplazamientos únicos”** para cargar el archivo.



*Figura B.9 Confirmación de archivo a importar.*

10) Si se tiene algún archivo proveniente de una Base CORS el cual será utilizado como punto de control para dar posición a los puntos observados en campo, a la hora de importar el archivo se asigna como punto de control tal como se muestra en la imagen, no hay que olvidar que a este archivo que

es utilizado como punto de control hay que corregirle el valor de las coordenadas y elevación que trae del día de la observación, por los valores correctos los cuales fueron calculados y ajustados el día que se le dio posición a la estación CORS.

Para cambiar el valor de las coordenadas y su elevación se posesiona en la casilla de cada una de estas que se encuentra en la parte inferior de **“Puntos de Control”** y posteriormente **“Aceptar”** y seleccionamos **“Para importar y procesar emplazamientos únicos”** para cargar el archivo como punto de control.

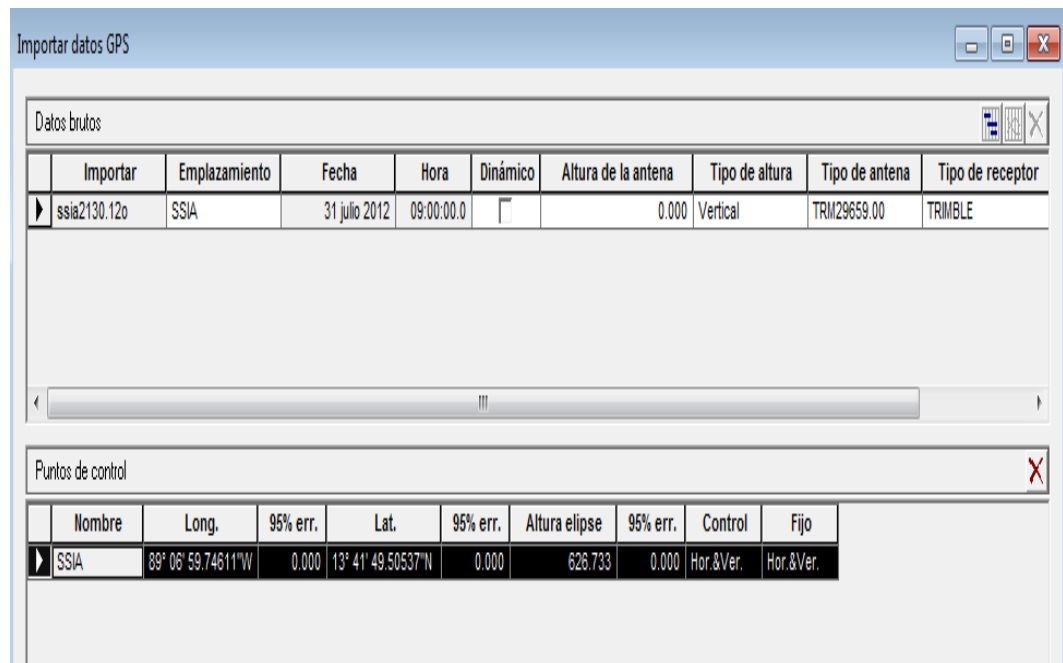


Figura B.10 Definición de puntos de control.

- 11) Una vez cargados todos los archivos se procede a la detección de algún error grave en los archivos cargados seleccionando la opción “Detección de errores graves” que se encuentra en la opción “Proyectos” de la barra de herramientas.

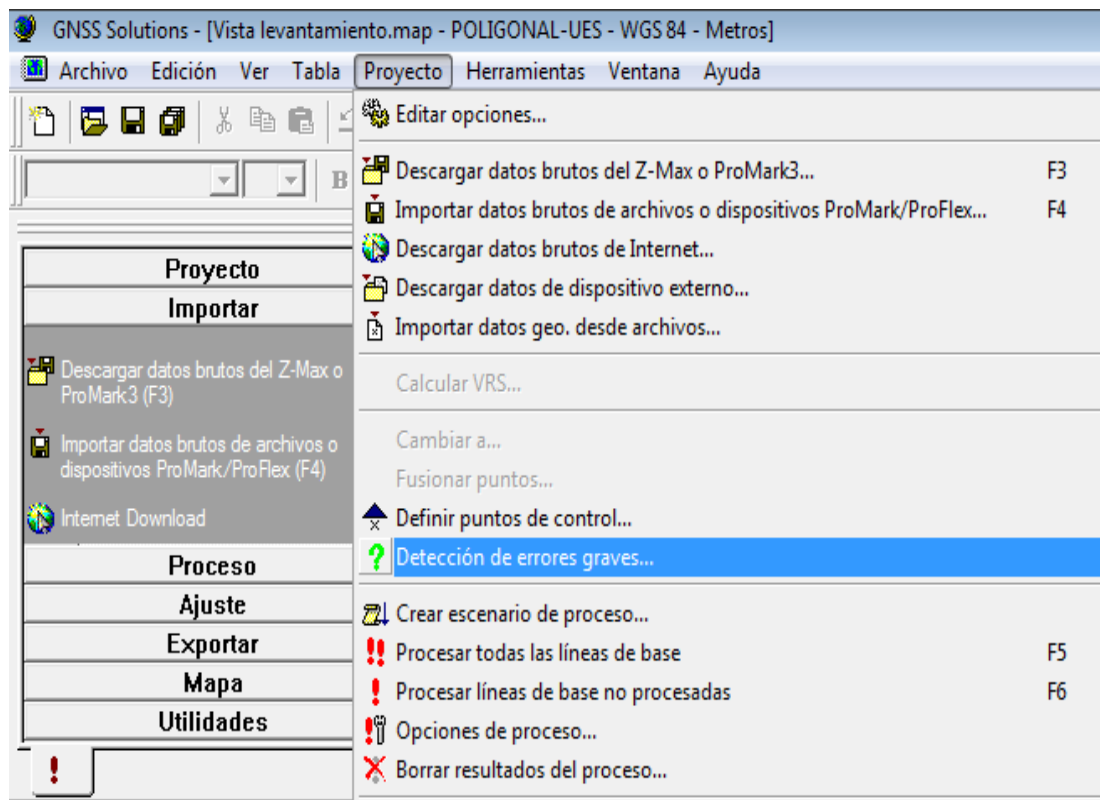
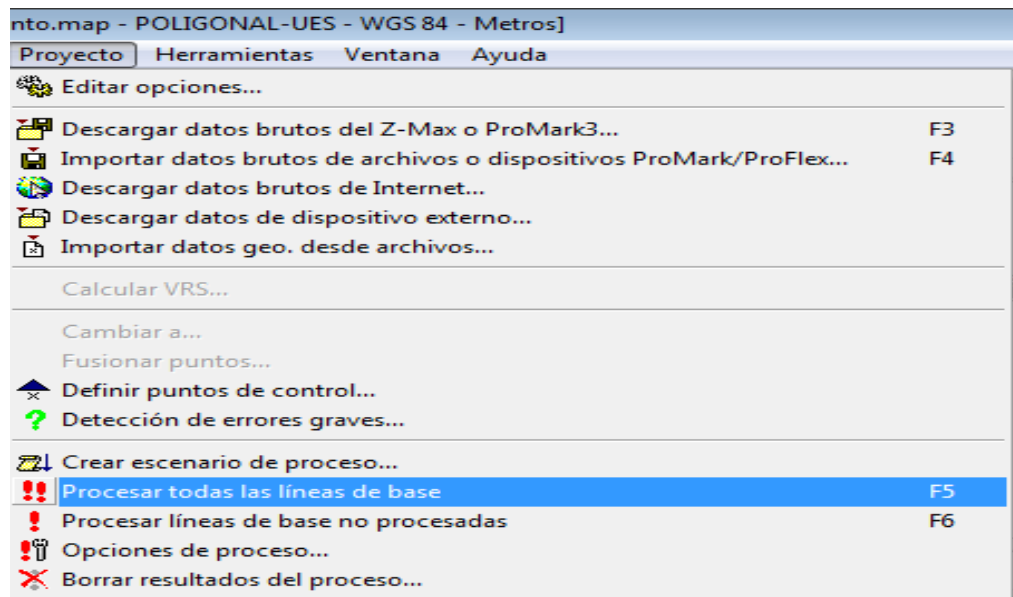


Figura B.11 Verificación de errores graves.

- 12) Seguidamente pasamos a procesar todos los vectores o líneas bases las cuales se formaron debido al tiempo en común (HORA RELOJ) que estuvo en observación cada punto, seleccionando “**Procesar todas las líneas de**

**base o F5**” que se encuentra dentro de la opción **“Proyecto”** de la barra de herramientas.



*Figura B.12 Procesar líneas bases formadas entre los puntos.*

- 13) Después de procesar todas las líneas bases o vectores formados entre los puntos de la poligonal, se verifica que cada vector tenga una solución **“Fijo”** de lo contrario se procederá a verificar cada grafico correspondiente a los residuales de cada satélite, en el cual de acuerdo a su estado se procederá a eliminarlo totalmente o parcialmente.

Libro de trabajo.tbl - POLIGONAL-UES - WGS 84 - Metros						
	Referencia	Remoto	Hora_Inicial	QA_Proc	Solución	Longitud_Proc
12	2	5	31 julio 2012 12:24:30.00	<input checked="" type="checkbox"/>	Fijo	224.736
13	7	4	31 julio 2012 11:39:10.00	<input checked="" type="checkbox"/>	Fijo	160.752
14	7	5	31 julio 2012 12:24:30.00	<input checked="" type="checkbox"/>	Fijo	181.272
15	5	6	31 julio 2012 12:32:00.00	<input checked="" type="checkbox"/>	Fijo	170.268
16	1	3	31 julio 2012 10:45:10.00	<input type="checkbox"/>	Móvil	228.168
17	SSIA	3	31 julio 2012 10:45:10.00	<input checked="" type="checkbox"/>	Fijo	9400.202
18	SSIA	5	31 julio 2012 12:24:30.00	<input checked="" type="checkbox"/>	Fijo	9397.752
19	SSIA	6	31 julio 2012 12:32:00.00	<input checked="" type="checkbox"/>	Fijo	9564.948
20	SSIA	1	31 julio 2012 10:19:00.00	<input checked="" type="checkbox"/>	Fijo	9614.358
21	SSIA	2	31 julio 2012 10:34:20.00	<input checked="" type="checkbox"/>	Fijo	9509.048
22	SSIA	4	31 julio 2012 11:38:50.00	<input checked="" type="checkbox"/>	Fijo	9384.598
23	SSIA	7	31 julio 2012 11:39:10.00	<input checked="" type="checkbox"/>	Fijo	9541.008
24	SSIA	8	31 julio 2012 10:10:10.00	<input checked="" type="checkbox"/>	Fijo	9582.348
25	8	2	31 julio 2012 10:34:20.00	<input checked="" type="checkbox"/>	Fijo	76.728

Archivos \ Ocupaciones \ Puntos \ Posiciones de control \ Vectores \ Vectores de repetición

Figura B.13 Resultado de solución de procesamiento de líneas bases.

- 14) Para poder revisar los gráficos de residuales de cada satélite correspondiente al vector que no presentó una solución “Fijo” es necesario dar doble clic izquierdo en el vector de interés y desplegará una pantalla donde se encuentra la opción “Residual” la cual dará acceso a cada uno de los gráficos en conjunto o individual, los cuales dependiendo su estado tendrán que anotarse cuales se eliminarán total o parcialmente, los cuales se muestran cómo eliminarlos en el siguiente paso.

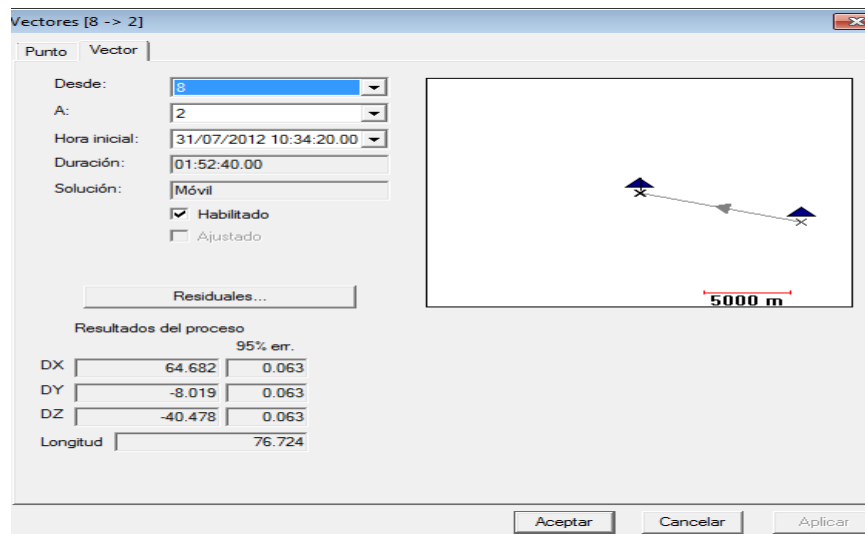


Figura B.14 Revisión de Residuales de satélites en cada vector.



Figura B.15 Grafico de residuales de cada satélite.

15) Para poder descartar algunos satélites cuyos gráficos de residuales no es conveniente tomarlo en cuenta, se ingresa a la opción **Opciones de proceso** que se encuentra dentro de la opción **Proyecto** de la Barra de Herramientas, en la cual desplegará una pantalla que contiene una columna identificada como **SV No seleccionados** en la cual tenemos que seleccionar la fila correspondiente al vector con solución “**móvil**” y seleccionar los satélites en mal estado, tal como se muestra en las figuras.

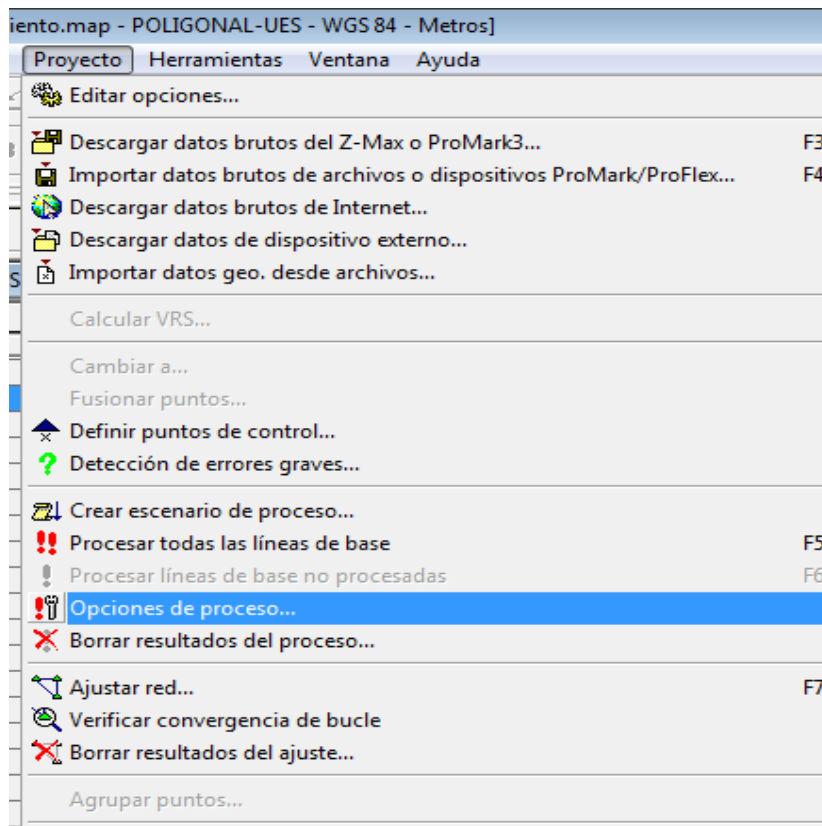


Figura B.16 Ruta para modificación de Residuales.

Procesado										
	Listo	Referencia	Datos de referencia	Remoto	Datos remotos	Modo	Elevación mín.	SV no seleccionados	Enmascarar	T
	<input checked="" type="checkbox"/>	8	G0008A.12.213	6	G0002B.12.213	Estático	10.0		...	Em
	<input checked="" type="checkbox"/>	8	G0008A.12.213	2	G0002A.12.213	Estático	10.0		...	Em
	<input checked="" type="checkbox"/>	8	G0008A.12.213	7	G0001B.12.213	Estático	10.0	<input type="checkbox"/> G11 (GPS 11)	...	Em
	<input checked="" type="checkbox"/>	8	G0008A.12.213	1	G0001A.12.213	Estático	10.0	<input type="checkbox"/> G13 (GPS 13)	...	Em
	<input checked="" type="checkbox"/>	2	G0002A.12.213	7	G0001B.12.213	Estático	10.0	<input checked="" type="checkbox"/> G17 (GPS 17)	...	Em
	<input checked="" type="checkbox"/>	2	G0002A.12.213	1	G0001A.12.213	Estático	10.0	<input type="checkbox"/> G19 (GPS 19)	...	Em
	<input checked="" type="checkbox"/>	7	G0001B.12.213	6	G0002B.12.213	Estático	10.0	<input checked="" type="checkbox"/> G20 (GPS 20)	...	Em
	<input checked="" type="checkbox"/>	8	G0008A.12.213	5	G0004A.12.213	Estático	10.0	<input type="checkbox"/> G23 (GPS 23)	...	Em
	<input checked="" type="checkbox"/>	8	G0008A.12.213	3	G0003A.12.213	Estático	10.0		...	Em
	<input checked="" type="checkbox"/>	8	G0008A.12.213	4	G0003C.12.213	Estático	10.0		...	Em
	<input checked="" type="checkbox"/>	2	G0002A.12.213	3	G0003A.12.213	Estático	10.0		...	Em
	<input checked="" type="checkbox"/>	2	G0002A.12.213	4	G0003C.12.213	Estático	10.0		...	Em
	<input checked="" type="checkbox"/>	2	G0002A.12.213	5	G0004A.12.213	Estático	10.0		...	Em
	<input checked="" type="checkbox"/>	7	G0001B.12.213	4	G0003C.12.213	Estático	10.0		...	Em
	<input checked="" type="checkbox"/>	7	G0001B.12.213	5	G0004A.12.213	Estático	10.0		...	Em
	<input checked="" type="checkbox"/>	5	G0004A.12.213	6	G0002B.12.213	Estático	10.0		...	Em
	<input checked="" type="checkbox"/>	1	G0001A.12.213	3	G0003A.12.213	Estático	10.0		...	Em
	<input checked="" type="checkbox"/>	SSIA	ssia2130.12o	3	G0003A.12.213	Estático	10.0		...	Em
	<input checked="" type="checkbox"/>	SSIA	ssia2130.12o	5	G0004A.12.213	Estático	10.0		...	Em
	<input checked="" type="checkbox"/>	SSIA	ssia2130.12o	6	G0002B.12.213	Estático	10.0		...	Em
	<input checked="" type="checkbox"/>	SSIA	ssia2130.12o	1	G0001A.12.213	Estático	10.0		...	Em
	<input checked="" type="checkbox"/>	SSIA	ssia2130.12o	2	G0002A.12.213	Estático	10.0		...	Em
	<input checked="" type="checkbox"/>	SSIA	ssia2130.12o	4	G0003C.12.213	Estático	10.0		...	Em
	<input checked="" type="checkbox"/>	SSIA	ssia2130.12o	7	G0001B.12.213	Estático	10.0		...	Em
	<input checked="" type="checkbox"/>	SSIA	ssia2130.12o	8	G0008A.12.213	Estático	10.0		...	Em

Figura B.17 Selección de Residuales de satélites a eliminar.

16) Otra herramienta que contribuye al estado de solución “fijo” durante paso de Procesar líneas bases es la opción de “Enmascarar” de la opción “Opciones de proceso” que se encuentra dentro de la opción “Proyecto” de la Barra de Herramientas, en la cual tenemos que seleccionar la fila correspondiente al vector con solución “móvil” y seleccionar aquellos tramos de tiempo de cada satélite en la cual las líneas de los datos de Referencia y Remoto se encuentran discontinuas o segmentadas y así descartarlos al momento de procesar las líneas bases tal como se muestra en las figuras.

Para seleccionar se mantiene apretado el clip izquierdo del mouse y se arrastra manteniéndolo así hasta el área de interés, también no hay que olvidar que para confirmar los cambios es necesario seleccionar **“Aceptar”** y dar click en la opción **“Para importar y seleccionar líneas de base seleccionadas”**

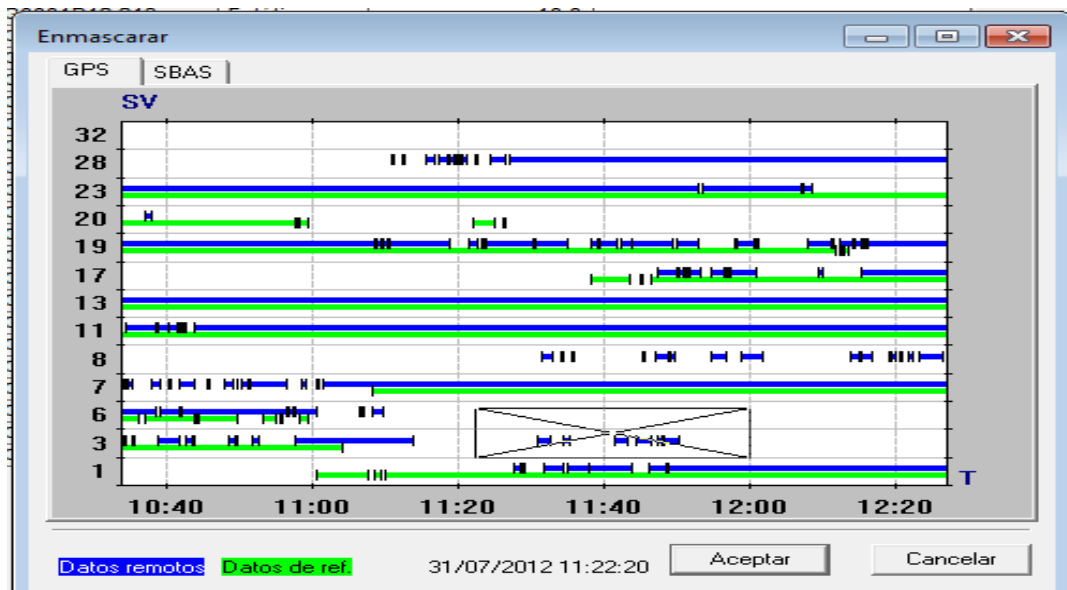


Figura B.18 Enmascarar intervalos de tiempo de grabación.

- 17) Después de hacer cada modificación por vector en la opción **“Opciones de proceso”** seguidamente se selecciona la opción **“Procesar línea de base no procesada o F6”** para volver a procesar líneas bases incluyendo las modificaciones y revisar que aparezca el estatus de **“fijo”** en la columna de solución de los vectores.

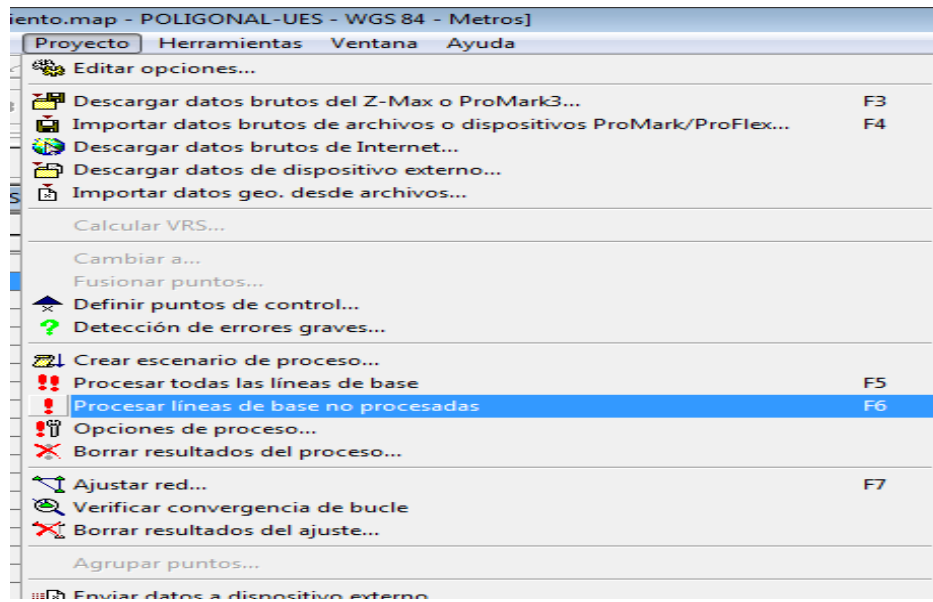


Figura B.19 Ruta para volver a procesar líneas base, después de modificaciones residuales.

Libro de trabajo.tbl - POLIGONAL-UES - WGS 84 - Metros

	Referencia	Remoto	Hora_Inicial	QA_Proc	Solución	LC
1	8	6	31 julio 2012 12:32:00.00	<input checked="" type="checkbox"/>	Fijo	
2	8	7	31 julio 2012 11:39:10.00	<input checked="" type="checkbox"/>	Fijo	
3	8	1	31 julio 2012 10:19:00.00	<input checked="" type="checkbox"/>	Fijo	
4	7	6	31 julio 2012 12:32:00.00	<input checked="" type="checkbox"/>	Fijo	
5	8	5	31 julio 2012 12:24:30.00	<input checked="" type="checkbox"/>	Fijo	
6	8	4	31 julio 2012 11:38:50.00	<input checked="" type="checkbox"/>	Fijo	
7	2	5	31 julio 2012 12:24:30.00	<input checked="" type="checkbox"/>	Fijo	
8	7	4	31 julio 2012 11:39:10.00	<input checked="" type="checkbox"/>	Fijo	
9	7	5	31 julio 2012 12:24:30.00	<input checked="" type="checkbox"/>	Fijo	
10	5	6	31 julio 2012 12:32:00.00	<input checked="" type="checkbox"/>	Fijo	
11	SSIA	3	31 julio 2012 10:45:10.00	<input checked="" type="checkbox"/>	Fijo	
12	SSIA	5	31 julio 2012 12:24:30.00	<input checked="" type="checkbox"/>	Fijo	
13	SSIA	6	31 julio 2012 12:32:00.00	<input checked="" type="checkbox"/>	Fijo	
14	SSIA	1	31 julio 2012 10:19:00.00	<input checked="" type="checkbox"/>	Fijo	
15	SSIA	2	31 julio 2012 10:34:20.00	<input checked="" type="checkbox"/>	Fijo	
16	SSIA	4	31 julio 2012 11:38:50.00	<input checked="" type="checkbox"/>	Fijo	
17	SSIA	7	31 julio 2012 11:39:10.00	<input checked="" type="checkbox"/>	Fijo	
18	SSIA	8	31 julio 2012 10:10:10.00	<input checked="" type="checkbox"/>	Fijo	
19	8	2	31 julio 2012 10:34:20.00	<input checked="" type="checkbox"/>	Fijo	
20	2	7	31 julio 2012 11:39:10.00	<input checked="" type="checkbox"/>	Fijo	
21	8	3	31 julio 2012 10:45:10.00	<input checked="" type="checkbox"/>	Fijo	
22	2	4	31 julio 2012 11:38:50.00	<input checked="" type="checkbox"/>	Fijo	
23	2	3	31 julio 2012 10:45:10.00	<input checked="" type="checkbox"/>	Fijo	
24	2	1	31 julio 2012 10:34:20.00	<input checked="" type="checkbox"/>	Fijo	
25	1	3	31 julio 2012 10:45:10.00	<input checked="" type="checkbox"/>	Fijo	

Archivos \ Ocupaciones \ Puntos \ Posiciones de control \ Vectores \ Vectores

Figura B.20 Resultado de procesar líneas bases después de las modificaciones.

18) El siguiente paso es ingresar a la opción **“Ajustar red”** siempre dentro de la Opción **“Proyectos”** de la barra de herramientas, en la cual el programa se encarga de ajustar todas las poligonales formadas por distintas líneas base o vectores, lo mejor posible.

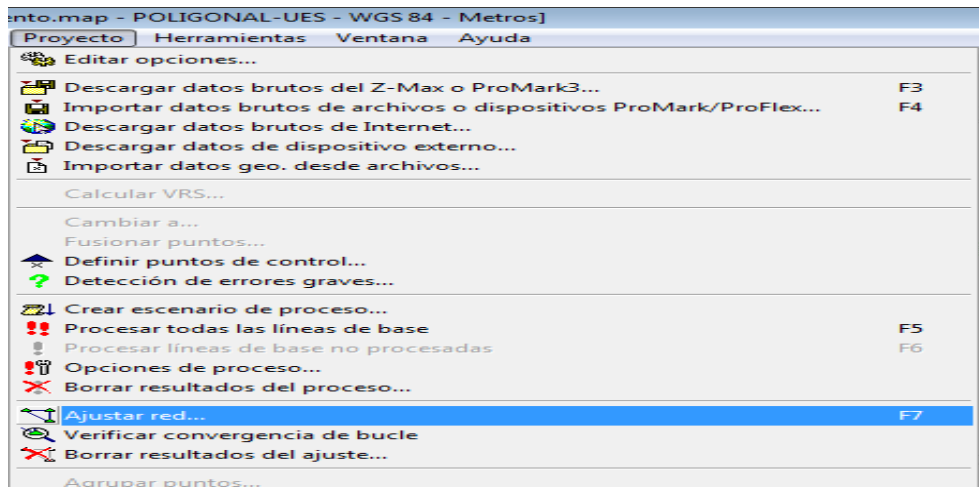


Figura B.21 Ruta para ajuste de Red.

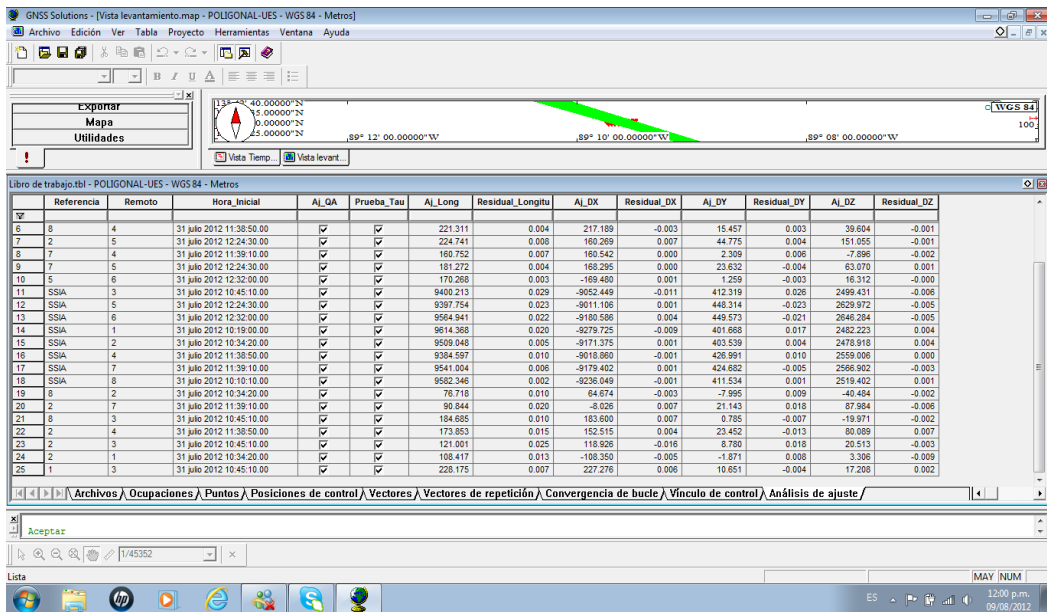


Figura B.22 Resultado de ajuste de Red.

19) Después del ajuste se revisa la “**Convergencia de Bucle**” de cada poligonal, seleccionando en la pantalla de levantamiento del programa cada línea base formada por los puntos. En esta revisión podemos ver los errores de cierre de cada poligonal, para realizar este paso se procede a seleccionar cada línea base, luego seleccionamos dentro de la opción “**Proyecto**” de la barra de herramientas la otra opción llamada “**Verificar convergencia de bucle**” y nos mostrará un cuadro con las distintas poligonales y poder revisar el error de cierre de cada una.

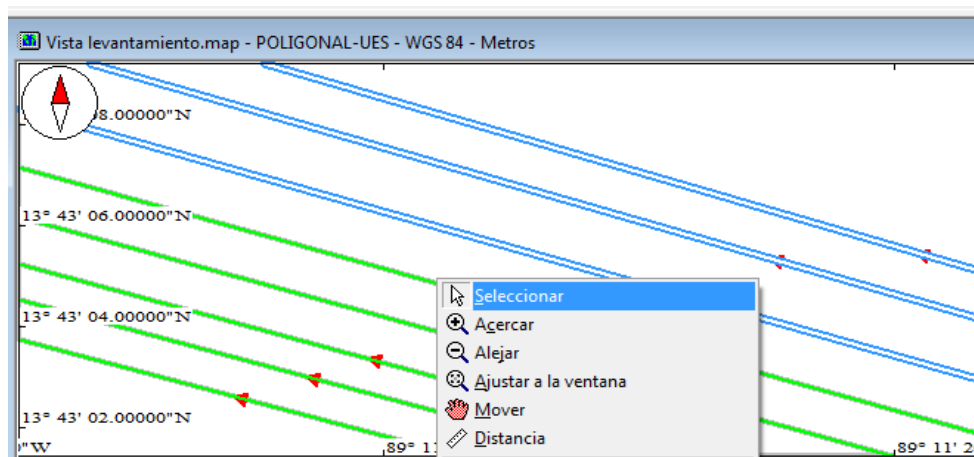


Figura B.23 Selección de líneas bases para verificación de Convergencia de Bucle.

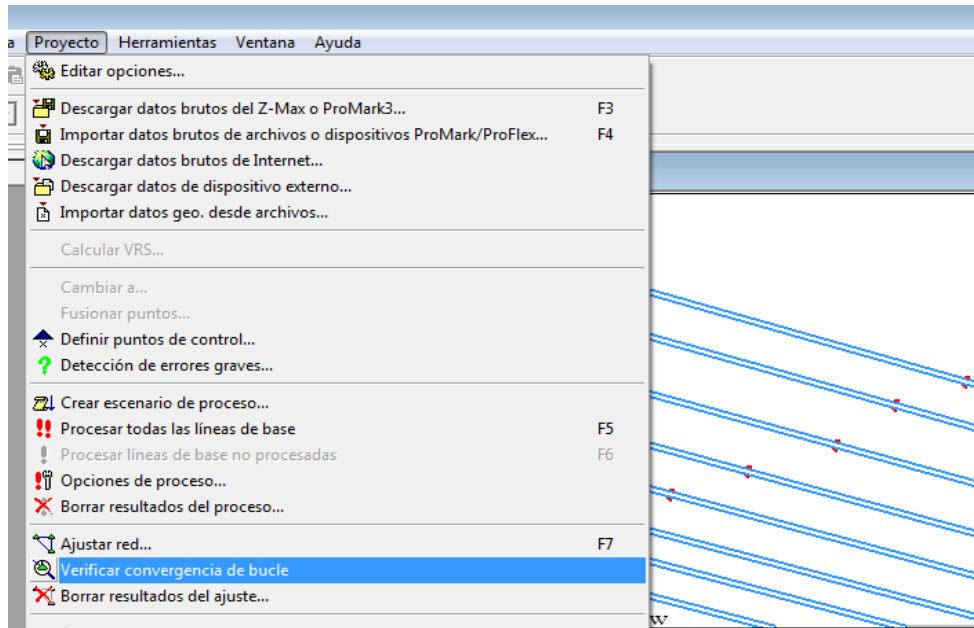


Figura B.24 Ruta para revisar Convergencias de Bucle.

The image shows a software interface with a data table and a dialog box. The data table is as follows:

Bucle	Longitud_bucle	X_Varios	Y_Varios	Z_Varios	
1	19290.896	0.008	-0.026	-0.006	
2	242.655	0.007	0.036	-0.010	
3	243.338	-0.016	0.027	-0.013	0.034
4	19189.152	0.004	-0.017	-0.005	0.018
5	19233.438	0.008	-0.031	-0.007	0.033

The dialog box 'Número de bucle [2]' has the following content:

Vectores Mala convergencia

Bucle 2

Referencia	Remoto	Hora_Inicial
→ 8	7	31 julio 2012 11:39:10.00
← 2	7	31 julio 2012 11:39:10.00
← 8	2	31 julio 2012 10:34:20.00

Buttons: Aceptar, Cancelar, Aplicar

Navigation bar: Archivos, Ocupaciones, Puntos, Posiciones de control, Vectores, Vectores de repetición, Convergencia de bucle, Vínculo de cont

Figura B.25 Vectores que componen Bucle.

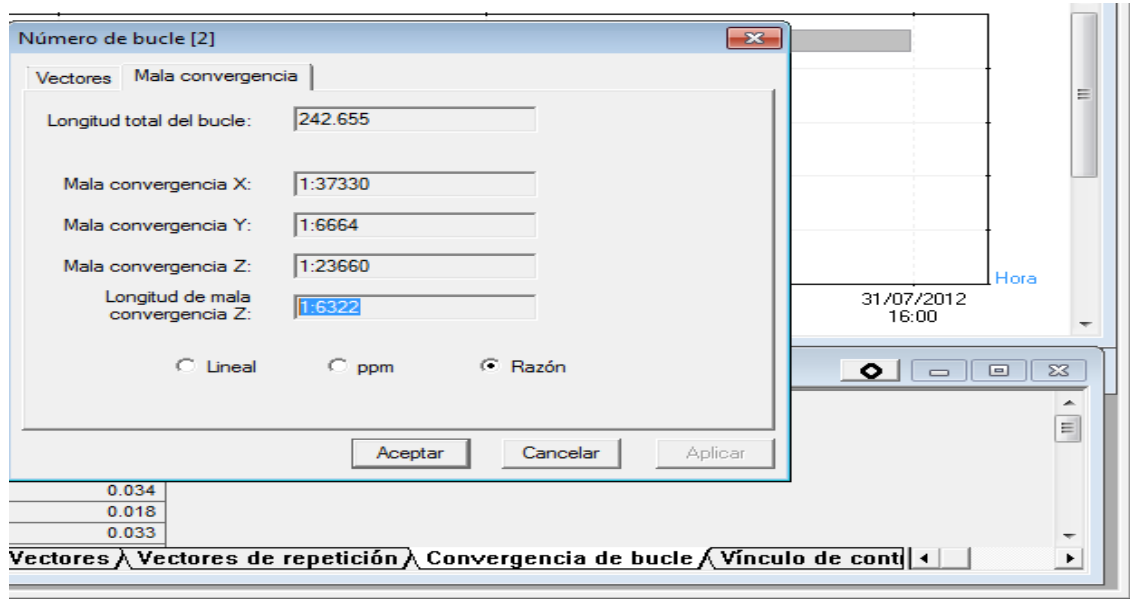


Figura B.26 Resultados de cierres de Bucles.

20) Por último se genera un reporte completo de todos los resultados de los procesos realizados, el cual es almacenado dentro de la carpeta llamada **“Mis Proyectos”** ubicada en el disco local “C” que cuenta con otra carpeta interna que es reconocida por el nombre de como se llamó el proyecto.

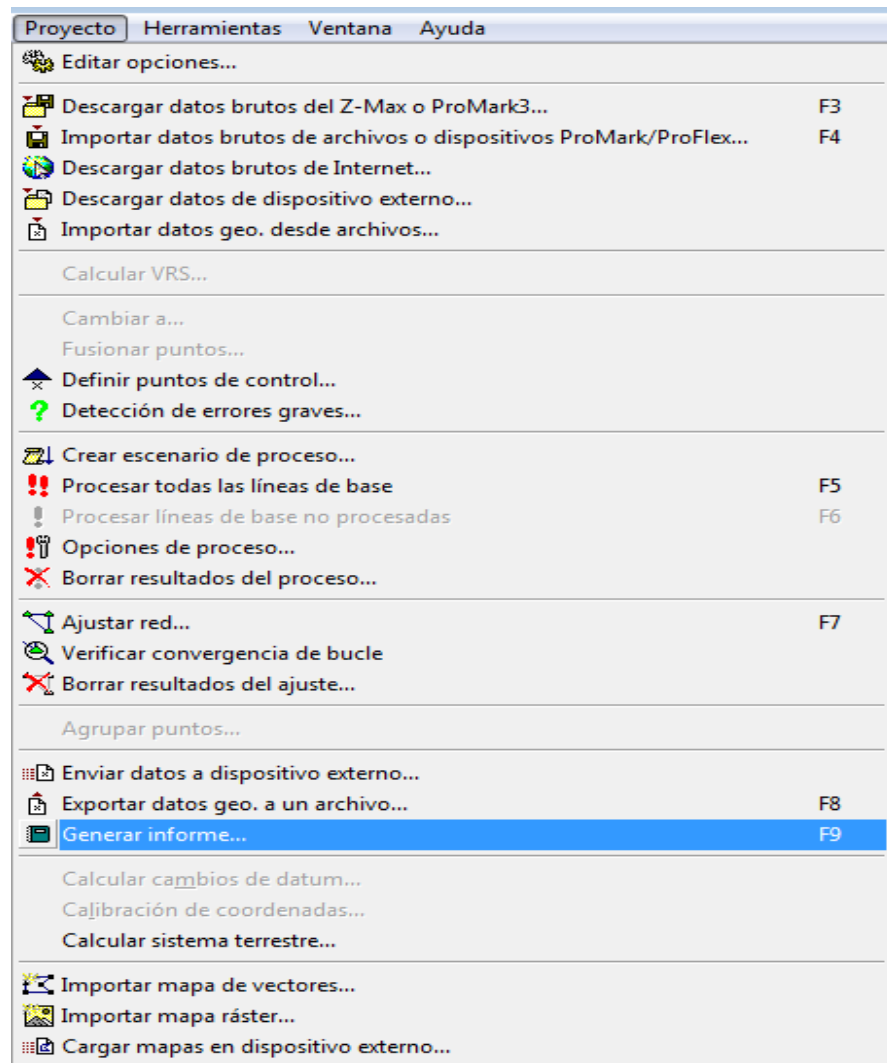


Figura B.27 Ruta para generar informe de todos los procesos realizados con su respectivo resultado.

## ANEXO C

### REPORTE- UES-PLG-ESTÁTICO

#### *Vista de levantamiento*

GNSS Solutions, Copyright © 2011 Ashtech. 02/01/2001 10:25:41 p.m.  
[www.ashtech.com](http://www.ashtech.com)

Nombre del proyecto: UES BUENO-SAB-NOCHE  
 Sistema de referencia espacial: WGS 84  
 Zona horaria: (GMT-06:00) América Central  
 Unidades lineales: Metros

#### Resumen del sistema de coordenadas

##### Sistema de coordenadas

Nombre: WGS 84  
 Tipo: Geográfico  
 Nombre de la unidad: Radianes  
 Radianes por unidad: 1  
 Datum vertical: Elipsoide  
 Unidad vertical : Metros  
 Metros por unidad: 1

##### Datum

Nombre: WGS 84  
 Nombre del elipsoide: WGS 84  
 Semieje mayor: 6378137.000 m  
 Inversa aplastamiento: 298.257223563  
 DX a WGS84: 0.0000 m  
 DY a WGS84: 0.0000 m  
 DY a WGS84: 0.0000 m  
 RX a WGS84: 0.000000 "  
 RY a WGS84: 0.000000 "  
 RZ a WGS84: 0.000000 "  
 ppm a WGS84: 0.000000000000

#### Puntos de control

Nombre	Componentes	95% Error	Estado
<u>Error de control</u>			
SSIA	Long. 89° 06' 59.74611"W	0.000	FIJO
	Lat. 13° 41' 49.50537"N	0.000	FIJO
	Altura elipse 626.733	0.000	FIJO

### Puntos registrados

Nombre	Componentes		95% Error	Estado
1	Long.	89° 12' 08.32659"W	0.012	Ajustado
	Lat.	13° 43' 12.11161"N	0.011	Ajustado
	Altura elipse	692.542	0.014	Ajustado
	Descripción	PT-1		
2	Long.	89° 12' 04.72020"W	0.011	Ajustado
	Lat.	13° 43' 12.00997"N	0.010	Ajustado
	Altura elipse	691.405	0.013	Ajustado
	Descripción	PT-2		
3	Long.	89° 12' 00.75885"W	0.013	Ajustado
	Lat.	13° 43' 12.71321"N	0.011	Ajustado
	Altura elipse	689.349	0.015	Ajustado
	Descripción	PT-3		
4	Long.	89° 11' 59.63424"W	0.012	Ajustado
	Lat.	13° 43' 14.70582"N	0.011	Ajustado
	Altura elipse	689.687	0.014	Ajustado
	Descripción	PTO 4		
5	Long.	89° 11' 59.36632"W	0.012	Ajustado
	Lat.	13° 43' 17.11259"N	0.010	Ajustado
	Altura elipse	685.914	0.014	Ajustado
	Descripción	PTO 5		
6	Long.	89° 12' 05.00540"W	0.012	Ajustado
	Lat.	13° 43' 17.65607"N	0.011	Ajustado
	Altura elipse	686.263	0.014	Ajustado
	Descripción	PT-6		
7	Long.	89° 12' 04.97754"W	0.012	Ajustado
	Lat.	13° 43' 14.95487"N	0.010	Ajustado
	Altura elipse	691.628	0.013	Ajustado
	Descripción	PT-7		
8	Long.	89° 12' 06.86866"W	0.011	Ajustado
	Lat.	13° 43' 13.35815"N	0.010	Ajustado
	Altura elipse	692.366	0.013	Ajustado
	Descripción	PT8		

### Archivos

Tipo	Nombre	Hora inicial	Muestreo	Generaciones	Tamaño (KB)	
L1/L2 GPS	ssia2130.12o	12/07/31 09:00:00	15	1681	2081	
GPS/WAAS	G0008A12.213	12/07/31 10:10:10	10	1131	992	L1/L2
GPS/WAAS	G0002A12.213	12/07/31 10:34:20	10	680	601	L1/L2
GPS/WAAS	G0002B12.213	12/07/31 12:32:00	10	268	278	L1/L2
GPS/WAAS	G0001A12.213	12/07/31 10:19:00	10	440	531	L1/L2
GPS/WAAS	G0001B12.213	12/07/31 11:39:10	10	597	647	L1/L2
GPS/WAAS	G0003A12.213	12/07/31 10:45:10	10	157	167	L1/L2
GPS/WAAS	G0003C12.213	12/07/31 11:38:50	10	251	312	L1/L2

GPS/WAAS  
 G0004A12.213 12/07/31 12:24:30 10 315 373 L1/L2  
 GPS/WAAS

**Ocupaciones**

Archivo	Emplazamiento	Hora inicial	Periodo de tiempo	Tipo	
SSIA	31 Julio 2012	09:00:00.00	07:00:00.00	Static	
ssia2130.12o	8	31 Julio 2012	10:10:10.00	03:08:10.00	Static
G0008A12.213	2	31 Julio 2012	10:34:20.00	01:52:40.00	Static
G0002A12.213	6	31 Julio 2012	12:32:00.00	00:44:00.00	Static
G0002B12.213	1	31 Julio 2012	10:19:00.00	01:13:00.00	Static
G0001A12.213	7	31 Julio 2012	11:39:10.00	01:38:40.00	Static
G0001B12.213	3	31 Julio 2012	10:45:10.00	00:26:00.00	Static
G0003A12.213	4	31 Julio 2012	11:38:50.00	00:40:40.00	Static
G0003C12.213	5	31 Julio 2012	12:24:30.00	00:51:30.00	Static
G0004A12.213					

**Procesos**

Modo	Referencia NUM	Archivo de referencia	Remoto	Archivo del receptor remoto	Estático
1	SSIA	ssia2130.12o	1	G0002B12.213	Estático
2	SSIA	ssia2130.12o	3	G0008A12.213	Estático
3	SSIA	ssia2130.12o	2	G0002A12.213	Estático
4	SSIA	ssia2130.12o	6	G0004A12.213	Estático
5	SSIA	ssia2130.12o	SSIA	G0001A12.213	Estático
6	SSIA	ssia2130.12o	2	G0003C12.213	Estático
7	SSIA	ssia2130.12o	7	G0001B12.213	Estático
8	SSIA	ssia2130.12o	8	G0003A12.213	Estático
9	3	G0008A12.213	2	G0002A12.213	Estático
10	3	G0008A12.213	1	G0002B12.213	Estático
11	3	G0008A12.213	SSIA	G0001A12.213	Estático
12	3	G0008A12.213	7	G0001B12.213	Estático
13	3	G0008A12.213	6	G0004A12.213	Estático
14	3	G0008A12.213	8	G0003A12.213	Estático
15	3	G0008A12.213	2	G0003C12.213	Estático
16	2	G0002A12.213	7	G0001B12.213	Estático
17	2	G0002A12.213	8	G0003A12.213	Estático
18	2	G0002A12.213	SSIA	G0001A12.213	Estático
	2	G0002A12.213	6	G0004A12.213	Estático



12/07/31 10:34:20.00				Y	-7.997	0.005		
+01:52:40.00				Z	-40.484	0.004		
8 - 6	143.605	0.010	X		55.466	0.004	8	2.9
Fijo								
12/07/31 12:32:00.00				Y	38.034	0.004		
+00:44:00.00				Z	126.883	0.004		
8 - 1	58.205	0.010	X		-43.684	0.004	9	2.1
Fijo								
12/07/31 10:19:00.00				Y	-9.857	0.004		
+01:13:00.00				Z	-37.181	0.004		
8 - 5	253.338	0.010	X		224.949	0.004	7	3.1
Fijo								
12/07/31 12:24:30.00				Y	36.772	0.004		
+00:51:30.00				Z	110.570	0.004		
8 - 4	221.314	0.010	X		217.193	0.004	8	2.3
Fijo								
12/07/31 11:38:50.00				Y	15.454	0.004		
+00:40:40.00				Z	39.605	0.004		
8 - 7	75.088	0.010	X		56.650	0.004	8	2.1
Fijo								
12/07/31 11:39:10.00				Y	13.156	0.004		
+01:38:40.00				Z	47.497	0.004		
2 - 7	90.845	0.010	X		-8.034	0.004	10	1.8
Fijo								
12/07/31 11:39:10.00				Y	21.130	0.004		
+00:47:50.00				Z	87.987	0.004		
2 - 3	121.010	0.011	X		118.936	0.004	8	2.8
Fijo								
12/07/31 10:45:10.00				Y	8.773	0.005		
+00:26:00.00				Z	20.513	0.004		
2 - 1	108.421	0.010	X		-108.354	0.004	10	1.7
Fijo								
12/07/31 10:34:20.00				Y	-1.871	0.004		
+00:57:40.00				Z	3.309	0.004		
2 - 5	224.736	0.018	X		160.262	0.006	9	2.3
Fijo								
12/07/31 12:24:30.00				Y	44.770	0.009		
+00:02:30.00				Z	151.056	0.006		
2 - 4	173.848	0.010	X		152.510	0.004	10	1.9
Fijo								
12/07/31 11:38:50.00				Y	23.464	0.004		
+00:40:40.00				Z	80.083	0.004		
1 - 3	228.168	0.010	X		227.268	0.004	10	1.5
Fijo								
12/07/31 10:45:10.00				Y	10.665	0.004		
+00:26:00.00				Z	17.203	0.004		
7 - 6	83.199	0.010	X		-1.185	0.004	9	1.9
Fijo								
12/07/31 12:32:00.00				Y	24.890	0.004		
+00:44:00.00				Z	79.380	0.004		
7 - 4	160.752	0.010	X		160.541	0.004	10	2.1
Fijo								
12/07/31 11:39:10.00				Y	2.302	0.004		
+00:40:20.00				Z	-7.894	0.004		

7 - 5	181.273	0.010	X	168.295	0.004	10	1.8
Fijo							
12/07/31 12:24:30.00			Y	23.636	0.004		
+00:51:30.00			Z	63.069	0.004		
5 - 6	170.268	0.010	X	-169.480	0.004	10	1.5
Fijo							
12/07/31 12:32:00.00			Y	1.262	0.004		
+00:44:00.00			Z	16.312	0.004		

### Vectores ajustados

Identificador de vector	Vector Longitud			Vector		Tau	QA
	Longitud	Resid.		Componentes	Resid.		
SSIA - 8	9582.348	0.002	X	-9236.052	-0.002		
12/07/31 10:10:10.00			Y	411.534	0.001		
			Z	2519.402	0.000		
SSIA - 2	9509.049	0.005	X	-9171.376	0.002		
12/07/31 10:34:20.00			Y	403.540	-0.000		
			Z	2478.918	0.004		
SSIA - 5	9397.756	0.023	X	-9011.109	0.001		
12/07/31 12:24:30.00			Y	448.314	-0.022		
			Z	2629.973	-0.004		
SSIA - 1	9614.370	0.019	X	-9279.728	-0.009		
12/07/31 10:19:00.00			Y	401.666	0.016		
			Z	2482.223	0.003		
SSIA - 4	9384.600	0.010	X	-9018.862	-0.001		
12/07/31 11:38:50.00			Y	426.991	0.010		
			Z	2559.006	-0.001		
SSIA - 7	9541.006	0.006	X	-9179.404	0.000		
12/07/31 11:39:10.00			Y	424.682	-0.006		
			Z	2566.902	-0.003		
SSIA - 3	9400.217	0.035	X	-9052.454	-0.013		
12/07/31 10:45:10.00			Y	412.323	0.031		
			Z	2499.429	-0.009		
SSIA - 6	9564.943	0.022	X	-9180.588	0.004		
12/07/31 12:32:00.00			Y	449.572	-0.020		
			Z	2646.284	-0.006		
8 - 3	184.683	0.009	X	183.598	0.007		
12/07/31 10:45:10.00			Y	0.790	-0.005		
			Z	-19.973	-0.002		
8 - 2	76.719	0.003	X	64.676	-0.001		
12/07/31 10:34:20.00			Y	-7.994	0.003		
			Z	-40.483	0.001		
8 - 6	143.605	0.005	X	55.464	-0.002		
12/07/31 12:32:00.00			Y	38.039	0.004		
			Z	126.882	-0.001		
8 - 1	58.199	0.013	X	-43.676	0.008		
12/07/31 10:19:00.00			Y	-9.867	-0.010		
			Z	-37.178	0.002		
8 - 5	253.335	0.010	X	224.943	-0.005		
12/07/31 12:24:30.00			Y	36.780	0.008		

				Z	110.572	0.002
8 - 4	221.311	0.005	X	217.190	-0.003	
12/07/31 11:38:50.00			Y	15.458	0.004	
			Z	39.604	-0.001	
8 - 7	75.088	0.009	X	56.648	-0.002	
12/07/31 11:39:10.00			Y	13.148	-0.008	
			Z	47.501	0.004	
2 - 7	90.844	0.014	X	-8.028	0.006	
12/07/31 11:39:10.00			Y	21.142	0.012	
			Z	87.984	-0.003	
2 - 3	120.997	0.018	X	118.922	-0.014	
12/07/31 10:45:10.00			Y	8.784	0.010	
			Z	20.510	-0.002	
2 - 1	108.418	0.006	X	-108.352	0.002	
12/07/31 10:34:20.00			Y	-1.873	-0.003	
			Z	3.305	-0.004	
2 - 5	224.740	0.007	X	160.267	0.005	
12/07/31 12:24:30.00			Y	44.774	0.004	
			Z	151.055	-0.001	
2 - 4	173.851	0.013	X	152.514	0.003	
12/07/31 11:38:50.00			Y	23.451	-0.012	
			Z	80.087	0.004	
1 - 3	228.173	0.010	X	227.274	0.006	
12/07/31 10:45:10.00			Y	10.657	-0.008	
			Z	17.206	0.003	
7 - 6	83.201	0.002	X	-1.184	0.000	
12/07/31 12:32:00.00			Y	24.890	0.001	
			Z	79.382	0.001	
7 - 4	160.752	0.007	X	160.542	0.000	
12/07/31 11:39:10.00			Y	2.309	0.007	
			Z	-7.897	-0.003	
7 - 5	181.273	0.004	X	168.295	0.000	
12/07/31 12:24:30.00			Y	23.632	-0.004	
			Z	63.071	0.002	
5 - 6	170.267	0.004	X	-169.480	0.001	
12/07/31 12:32:00.00			Y	1.258	-0.003	
			Z	16.310	-0.002	

## ANEXO D

### REPORTE DE DATOS RTK

#### Process Results

Raw file> /Storage Disk/TESIS.rw5

CRD file> /Storage Disk/TESIS.crd

Localization file>

Geoid File>

Point No.	Latitude Northing	Longitude Easting	GPS Elev Elevation	Rod Height Description
4	13°43'14.70390"	-89°11'59.63328"	692.507	2.874
4	1517926.8084	262094.9971	689.6330	PTO 4
5	13°43'17.11086"	-89°11'59.36532"	688.723	2.874
5	1518000.7259	262103.7243	685.8490	PTO 5
6	13°43'17.65512"	-89°12'05.00430"	689.053	2.874
6	1518019.0014	261934.4084	686.1790	PTO 6
7	13°43'14.95290"	-89°12'04.97778"	694.422	2.874
7	1517935.9268	261934.4480	691.5480	PTO 7
8	13°43'13.35618"	-89°12'06.86904"	695.164	2.874
8	1517887.3612	261877.1621	692.2900	PTO 8
1	13°43'12.11004"	-89°12'08.32638"	695.357	2.874
1	1517849.4538	261833.0150	692.4830	PTO 1
3	13°43'12.71058"	-89°12'00.75780"	692.190	2.874
3	1517865.8410	262060.6434	689.3160	PTO 3
2	13°43'12.00786"	-89°12'04.71960"	694.223	2.874
2	1517845.3243	261941.3817	691.3490	PTO 2

**ANEXO E****REPORTE DE DATOS ESTACIÓN TOTAL**

1,1517849.450,261833.020,692.483,PTO1,2009-01-01,03:15:23  
2,1517743.257,261854.918,693.039,,2009-01-01,03:08:20  
3,1517632.379,261903.335,690.975,PTO2,2009-01-01,03:21:43  
4,1517613.584,261970.689,693.015,PT04,2009-01-01,03:37:15  
5,1517622.768,262044.542,690.866,PT04,2009-01-01,03:46:08  
6,1517791.477,262021.855,693.118,PT06,2009-01-01,04:01:06  
8,1517815.651,261880.391,694.194,PT08,2009-01-01,04:18:32  
7,1517771.629,261941.229,694.442,PT7,2009-01-01,04:27:14  
9,1517849.459,261833.021,695.044,9,2009-01-01,04:30:39

**ANEXO F**

**PLANOS DE POLIGONAL**

**PLANO 1/3**

**PLANO 2/3**

**PLANO 3/3**

**ANEXO G****GLOSARIO TÉCNICO**

<b>Acimut</b>	Una observación topográfica utilizada para medir el ángulo formado entre una línea base horizontal y el norte geodésico. Cuando se aplica a observaciones GPS, se refiere a un acimut de sección normal.
<b>Acimut geodésico</b>	El ángulo formado entre el meridiano geodésico y la tangente a la línea geodésica del observador, medido en el plano perpendicular a la perpendicular del elipsoide del observador. Según el sentido de las agujas del reloj desde el norte.
<b>Achatamiento</b>	Una expresión matemática de las longitudes relativas de los ejes mayor y menor de un elipsoide.
<b>AI</b>	Altura del instrumento. Sinónimo con alturas de antena GPS.
<b>Ajuste</b>	El proceso de determinar y aplicar correcciones a observaciones con el fin de reducir errores en un ajuste de la red.
<b>Aj_QA</b>	Control de calidad. El software de posprocesado GPS a menudo dispone de varias pruebas QA (de control de calidad) para asegurar el uso de datos de calidad.
<b>Ajuste de la red</b>	Solución de ecuaciones simultáneas diseñada para lograr el cierre en una red topográfica al minimizar la suma de los cuadrados ponderados de los residuales de las observaciones. En el caso de disponer de observaciones redundantes, pueden ser utilizadas para mejorar los resultados y para investigar la fiabilidad. El ajuste de red calcula

coordenadas optimizadas mediante el método de mínimos cuadrados.

**Ajuste libre**

Realización de un ajuste de la red en el que no hay puntos de control (coordenadas) fijos. El ajuste de la red utiliza puntos de control fijos interiores.

**Alineación vertical (o emplomado)**

El acto de alinear la antena o instrumento a lo largo de una línea vertical (plomada) perpendicular a la superficie equipotencial del campo gravitatorio de la Tierra.

**Almanaque**

Datos, transmitidos por un satélite GPS, que incluyen información de la órbita de todos los satélites, correcciones horarias, y parámetros de retraso atmosférico.

El almanaque facilita la adquisición rápida de SV. La información de órbita es un subconjunto de los datos de efemérides con precisión reducida.

**Altura de antena**

La altura del centro de fase de la antena GPS sobre el punto que está siendo observado.

La altura de antena sin corregir se mide desde el punto observado a un punto designado de la antena, y a continuación se corrige al valor verdadero vertical manualmente o automáticamente en el software.

**Altura elipsoidal**

La distancia, medida a lo largo de la perpendicular, desde la superficie del elipsoide a un punto.

**Altura ortométrica**

La distancia entre un punto y la superficie del geode.

Generalmente se denomina elevación.

**Ambigüedad**

El número entero de ciclos desconocidos de la fase portadora reconstruida contenido en un conjunto de

medidas continuas. El receptor cuenta las ondas de radio (entre el satélite y la antena) con un nivel de precisión alto. No obstante, el receptor no tiene información del número de ondas que se envían al satélite en el momento en que empezó a contar. Este número de longitudes de onda desconocido entre el satélite y la antena, es la ambigüedad. También se conoce como desviación del entero.

**Antiespionaje (AS)**

Una característica que permite que el Departamento de Defensa Estadounidense pueda transmitir códigos Y en lugar de códigos P. La finalidad del código Y es que solo pueda ser utilizado por usuarios autorizados (principalmente militares). El antiespionaje se utiliza junto con la disponibilidad selectiva para no permitir que los usuarios civiles tengan acceso total al GPS.

**APC**

Centro de fase de la antena.  
El centro electrónico de la antena. Generalmente no corresponde al centro físico de la antena. La señal de radio se mide en el APC.

**Banda ancha**

Una combinación lineal de observaciones portadoras de fase  $L_1$  y  $L_2$  ( $L_1 + L_2$ ). Es útil por su longitud de onda baja (86,2 cm) y por su capacidad de localizar ambigüedades de entero en líneas base largas.

**Banda estrecha**

Una combinación lineal de observaciones de fase portadora  $L_1$  y  $L_2$  ( $L_1 + L_2$ ) que resulta útil para cancelar efectos ionosféricos de los datos de línea base capturados. La longitud de onda eficaz de la banda estrecha es de 10.7 centímetros.

**Baudio**

Una unidad de velocidad de transferencia de datos (de un dispositivo digital binario a otro) utilizada cuando se describen comunicaciones en serie.

**Centro en la Tierra- Fijo en la Tierra (ECEF)**

Sistemas de coordenadas cartesianos utilizados por el marco de referencia WGS-84. En estos sistemas de coordenadas, el centro del sistema se ubica en el centro de la masa terrestre. El eje "z" coincide con el eje rotacional medio de la Tierra y el eje "x" atraviesa

los 0° N y 0° E. El eje “y” es perpendicular al plano formado por los ejes “x” y “z”.

**Cierre** Acuerdo entre las partes medidas y conocidas de una red.

**Cierre de bucle** Los cierres de bucle proveen un indicador de el número de errores en un grupo de observaciones dentro de una red.

Un cierre de bucle se calcula seleccionando un punto del cual se han tomado una o más observaciones, añadiendo una de estas observaciones a las coordenadas del punto y calculando las coordenadas del segundo punto basándose en esta observación. Este proceso se repite una o más veces dentro de un bucle hasta terminar en el punto de origen. Si no hubiera errores en las observaciones, la coordenada calculada al final sería idéntica a la coordenada de inicio. un cierre incorrecto se determina restando la coordenada calculada a la coordenada original. Dividiendo este error por la longitud de la línea permite expresar el error en partes por millón.

**Cinemático en tiempo real** Un método de topografía con GPS en tiempo real que utiliza tiempos de ocupación cortos (parar y seguir), mientras mantiene el enganche en un mínimo de 4 satélites. Este método requiere un vínculo inalámbrico de datos entre los receptores base y móvil.

**Código** El código GPS es un código de ruido pseudoaleatorio (PRN) modulado en las señales portadoras del GPS.

El Código C/A no está clasificado y está disponible para utilizar en aplicaciones civiles.

El Código P también se conoce y no está clasificado, pero puede estar codificado por razones de defensa nacional.

Las mediciones de código son la base del posicionamiento y navegación con GPS. El código también se utiliza en conjunción con las mediciones de fase portadora con el fin de obtener soluciones de línea base con calidad topográfica más precisa.

<b>Código de adquisición grosera (C/A)</b>	Un código de ruido pseudoaleatorio (PRN) modulado en una señal L1. Este código ayuda a que el receptor calcule la distancia desde el satélite.
<b>Código P</b>	El código <i>preciso</i> transmitido por los satélites GPS. Cada satélite tiene un código único que se modula en las ondas portadoras L1 y L2. El código P es sustituido por el código Y cuando el anti-espionaje está habilitado.
<b>Código Y</b>	El código Y es la información contenida en el código P adicionalmente codificada. Los satélites transmiten el código Y en lugar del código P cuando el antiespionaje está habilitado.
<b>Constelación</b>	Un conjunto de satélites concreto utilizado para calcular posiciones: tres satélites para fijos 2D, cuatro satélites para fijos 3D. Todos los satélites visibles por un receptor GPS en un momento dado. La constelación óptima es la que tiene el valor PDOP más bajo. Véase también PDOP.
<b>Coordenadas cartesianas</b>	Véase coordenadas cartesianas centradas en la Tierra/fljas en la Tierra.
<b>Coordenadas de calibración</b>	Las coordenadas WGS-84 (latitud/longitud7altura elipsoidal) generadas a partir de un ajuste de la red mínimamente limitado de su observación GPS, y a continuación guardado para usarlo posteriormente en una calibración local GPS. Las coordenadas de calibración se utilizan como las coordenadas GPS observadas asociadas con las coordenadas de cuadrícula de un punto concreto al realizar la calibración.
<b>Coordenadas determinadas</b>	Coordenadas de punto que no se mueven cuando se realiza un ajuste de la red.
<b>Coordenadas geodésicas locales</b>	La latitud, longitud, y altura de un punto. Las coordenadas expresadas en términos del elipsoide

	local.
<b>Coordenadas geográficas (geodésicas)</b>	Latitud, longitud y altura elipsoidal.
<b>Coordenadas rectangulares</b>	Coordenadas del sistema en que los ejes de referencia se interceptan en ángulos rectos.
<b>Corrección de fase de la antena</b>	El centro de fase de una antena GPS no es un punto físico o estable. Este centro cambia en función de la dirección de la señal de un satélite. Gran parte de esta variación depende de la elevación del satélite. Al modelar esta variación del centro de fase de la antena se permite el empleo de diversos tipos de antena en un único levantamiento. Las correcciones de centro de fase de la antena no son tan críticas cuando se usan dos antenas iguales ya que se cancelan los errores idénticos que compartan.
<b>Corrección troposférica</b>	La corrección aplicada a la medida de un satélite con el fin de corregir el retraso ionosférico.
<b>Correlacionadas</b>	Se dice de dos o más observaciones (o cantidades derivadas) que tiene como mínimo un origen de error común.
<b>Covarianza</b>	Una medida de la correlación de errores entre dos observaciones o entre cantidades derivadas. También se refiere a un término fuera de la diagonal (es decir, no a una varianza) de la matriz varianza-covarianza.
<b>Curva de distribución normal</b>	Una ilustración gráfica de la distribución teórica de variables aleatorias alrededor de un valor esperado de acuerdo con la teoría de la probabilidad. Utilizada con histogramas.
<b>Datos brutos GPS</b>	Los datos capturados por un receptor GPS con el fin de procesarlos más adelante. Pueden tener el formato de archivo .dat (formato de archivo de datos brutos de Trimble ) o de un archivo RINEX.

<b>Datum</b>	<p>Un modelo matemático de la Tierra diseñado para abarcar parte o todo el geoide. Se define por la relación entre el elipsoide y un punto de la superficie topográfica establecido como el origen del datum. Generalmente se conoce como datum geodésico.</p> <p>El tamaño y forma de un elipsoide, así como la ubicación del centro del elipsoide con respecto al centro de la Tierra, generalmente se definen en los datums geodésicos mundiales.</p>
<b>Datum de ajuste</b>	<p>El datum utilizado en la iteración de ajuste de la red. El software Trimble Total Control le permite seleccionar el datum del proyecto o el datum WGS-84.</p>
<b>Datum geodésico</b>	<p>Un modelo matemático diseñado para adaptarlo a todo el geoide o parte del mismo. Se define por la relación entre un elipsoide y un punto en la superficie topográfica establecido como el origen de un datum. Los datums geodésicos mundiales se definen por el tamaño y forma de un elipsoide y la ubicación en el centro del elipsoide con respecto al centro de la Tierra.</p> <p>Se han establecido varios datums para adaptar de la mejor manera posible regiones específicas. Por ejemplo, los mapas europeos a menudo se basan en el Datum Europeo de 1950 (ED-50). Los mapas Estadounidenses en el Datum Norte Americano de 1927 ó en el de 1983 (NAD-27, NAD-83). Todas las coordenadas GPS se basan en la superficie del datum WGS-84.</p>
<b>Desajuste horario</b>	<p>La diferencia constante en la hora de lectura entre dos relojes. En GPS, generalmente se refiere al desajuste entre los relojes SV y el reloj del receptor del usuario.</p>
<b>Desplazamiento de la vertical</b>	<p>La diferencia angular, entre la dirección hacia arriba de la línea de plomada (vertical) y la perpendicular (normal) al elipsoide.</p>
<b>Diferenciación doble</b>	<p>Un método aritmético de diferenciación de portadora</p>

de fase medida simultáneamente por dos receptores que rastrean los mismos satélites. Este método elimina los errores del satélite y los errores horarios.

<b>Disponibilidad Selectiva (S/A)</b>	Degradación artificial de las señales de los satélites llevada a cabo por el Ministerio de Defensa Estadounidense. El error de las posiciones producido por SA puede ser de hasta 100 metros.
<b>Distancia horizontal</b>	La distancia entre dos puntos, calculada horizontalmente a partir de la elevación de cualquiera de los puntos.
<b>Distancia inclinada</b>	La distancia en el plano paralelo a la diferencia vertical (pendiente) entre los puntos.
<b>Doble frecuencia</b>	Un tipo de receptor que utiliza señales las L1 y L2 de los satélites GPS. Este tipo de receptor puede calcular fijos de posición más precisos en distancias más largas y bajo condiciones adversas ya que compensa el retraso ionosférico.
<b>DOP</b>	<p>Dilution of Precision (Dilución de precisión)</p> <p>Un indicador de la calidad de una posición GPS, Tiene en consideración la ubicación de cada satélite relativa a los otros satélites de la constelación, y su geometría en relación a un receptor GPS. Un valor DOP bajo indica una probabilidad de precisión mayor. DOPs estándar para aplicaciones con GPS:</p> <p>Posición PDOP (tres coordenadas)</p> <p>Horizontal HDOP (dos coordenadas horizontales)</p> <p>RDOP</p> <p>Vertical VDOP (sólo altura)</p> <p>Tiempo TDOP (sólo desajuste horario)</p>
<b>Efecto Doppler</b>	El cambio de frecuencia aparente de una señal causado por el movimiento relativo entre los satélites y el receptor.

<b>Efemérides</b>	Un conjunto de datos que describen la posición de un objeto celestial en función del tiempo. Todos los satélites GPS transmiten periódicamente unas efemérides de emisión que contiene las posiciones predichas en el futuro próximo, cargadas por el segmento de control. Los programas de posprocesamiento también pueden utilizar una efemérides precisa que describe las posiciones exactas de un satélite en el pasado.
<b>Elevación</b>	La altura sobre el nivel medio del mar o la distancia vertical sobre el geode. La elevación también se conoce como altura ortométrica.
<b>Elipsoide</b>	Un modelo matemático de la Tierra formado al rotar una elipse sobre su eje menor. En el caso de los elipsoides que modelan la Tierra, el eje menor es el eje polar y el eje mayor es el eje ecuatorial.  Un elipsoide se define al especificar las longitudes de ambos ejes, o al especificar la longitud del eje mayor del achatamiento.  Hay dos cantidades que definen un elipsoide; estos generalmente van determinados por la longitud del semieje mayor, “a”, y el achatamiento,
	$f = \frac{(a-b)}{a}$ <p>donde “b” es la longitud del semieje menor.</p>
<b>Elipsoide local</b>	El elipsoide especificado por un sistema de coordenadas. Antes de convertirse a coordenadas de la cuadrícula, las coordenadas WGS-84 se transforman primero a este elipsoide.
<b>Elipse de error</b>	Muestra gráficamente la calidad de los resultados del cálculo. Representa las desviaciones estándar en la dirección norte, este y en la altitud. Para las líneas-base se muestran los valores de la mejor solución.

Un círculo de referencia indica mediante su diámetro aquellos valores de desviación estándar máximos obtenidos de entre los objetos actualmente activados en la dirección norte o este. Una barra de referencia en su parte derecha indica la desviación estándar máxima en la altitud.

**Época**

El intervalo de medición de un receptor GPS. La época varía en función del tipo de levantamiento:

- Para levantamientos en tiempo real se configura en un segundo.
- Para levantamientos con posprocesamiento puede especificarse en una tasa que varíe entre un segundo y un minuto.

**Error**

La diferencia entre el valor medido de una cantidad y su valor verdadero. Los errores tipográficos generalmente se dividen en tres categorías: meteduras de pata, errores sistemáticos y errores aleatorios. Para detectar y eliminar los dos primeros se utiliza el análisis por mínimos cuadrados y para medir y distribuir adecuadamente el error aleatorio se emplea el ajuste por mínimos cuadrados.

**Error de instalación**

Errores en el centrado de la plataforma nivelante o altura de un instrumento en un punto de control.

**Error propagado**

Errores calculados derivados de errores de observación estimados y expresados en términos de posiciones de coordenadas. Los errores de coordenadas propagados pueden, a su vez, propagarse en errores relativos de acimut, distancia, e incremento de altura entre puntos.

**Errores de centrado de la plataforma nivelante**

Los errores asociados con el centrado (plomada o alineación) de la plataforma nivelante sobre el punto observado.

**Escalar**

En mínimos cuadrados, un valor aplicado a las varianzas (errores) basado en el nivel de confianza requerido.

<b>Estación base</b>	<p>Una antena y un receptor instalados en una posición conocida. Se utiliza para levantamientos cinemáticos en tiempo real (RTK) o levantamientos diferenciales. La estación base puede registrar datos para un postprocesamiento posterior. Ejemplos de estación base son las estaciones de referencia de Trimble, como el software Trimble Reference Station (TRS), o el software Trimble Universal Reference Station (URS) y un receptor en modalidad de estación base.</p> <p>En la práctica con GPS, el topógrafo observa y calcula líneas base (es decir, la posición de un receptor relativa a otro). La estación base actúa como la posición a partir de la cual se derivan todas las otras posiciones.</p>
<b>Estación de Referencia</b>	<p>Es un punto fijo cuando se utiliza para el procesamiento.</p> <p>Las estaciones de referencia con coordenadas conocidas mejoran considerablemente los resultados del estimador de la línea-base.</p>
<b>Estático (levantamiento)</b>	<p>Un método de topografía con GPS que utiliza ocupaciones largas (en ocasiones horas) para capturar datos brutos GPS, y a continuación posprocesarlos con el fin de lograr precisiones subcentimétricas.</p>
<b>Estático Rápido</b>	<p>Un método de topografía con GPS que utiliza ocupaciones de hasta 20 minutos para capturar datos brutos GPS, que a continuación somete a posprocesamiento con el fin de lograr precisiones subcentimétricas. Generalmente, los tiempos de ocupación varían en función del número de satélites (SVs) a la vista:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>4 SVs necesitan 20 minutos</li> <li>5 SVs necesitan 15 minutos</li> <li>6 más SVs necesitan 8 minutos</li> </ul> <p>(capturados con un intervalo de época de 15 segundos)</p>
<b>Eventos</b>	<p>El registro de la ocurrencia de un acontecimiento, tal como el cierre del disparador de una cámara</p>

fotográfica. El receptor GPS puede registrar la marca de un evento que contenga la hora del mismo así como un comentario alfanumérico introducido por el teclado que describa el evento. El evento puede activarse con el teclado o mediante la introducción de una señal eléctrica en uno de los puertos del receptor.

<b>Frecuencia simple</b>	Un tipo de receptor que sólo utiliza la señal GPS L1. Los efectos Ionosféricos no se compensan.
<b>Factor de escala</b>	Un factor de escala es un parámetro de proyección de mapa utilizado para convertir las distancias de elipsoide a distancias de proyección (cuadrícula) y viceversa.
<b>GDOP</b>	Dilución de precisión geométrica (Geometric Dilution of Precision) La relación entre los errores de posición y tiempo del usuario, y los errores en la distancia del satélite. Véase también DOP.
<b>Geoide</b>	La superficie de equipotencial gravitacional que más se aproxima al nivel medio del mar. No es una forma matemática uniforme, sino una figura irregular con una forma general similar a la de un elipsoide. Generalmente, las elevaciones de los puntos se miden con referencia al geoide. Sin embargo, los puntos fijados con métodos GPS tienen alturas establecidas en el datum WGS-84 (una figura matemática). La relación entre el datum WGS-84 y el geoide debe determinarse por observación, ya que no hay una definición matemática sencilla que pueda describir la relación. El usuario debe emplear métodos topográficos convencionales para observar la elevación sobre el geoide, y a continuación comparar los resultados con la altura sobre el elipsoide WGS-84 en el mismo punto. Reuniendo un número elevado de observaciones de la separación entre el geoide y el datum WGS-84 (separación geoidal), pueden establecerse archivos de cuadrícula de los valores de separación. Esto permite la interpolación de la separación geoidal en

posiciones intermedias. Los archivos que contienen estas cuadrículas de separaciones geoidales se denominan modelos geoidales. Con una posición WGS-84 que forme parte de la cobertura de un modelo geoidal, el modelo puede ubicar la separación geoidal interpolada en esta posición.

<b>Geometría del satélite</b>	Posición y movimiento de satélites GPS durante un levantamiento GPS.
<b>GPS</b>	Sistema de Posicionamiento Global. El GPS se basa en una constelación de veinticuatro (24) satélites que orbitan la Tierra a gran altitud.
<b>HDOP</b>	Dilución de Precisión Horizontal ( Horizontal Dilution of Precision)
<b>Hora GPS</b>	Una medida horaria utilizada por el sistema NAVSTAR GPS. La hora GPS se basa en la Hora Universal Coordinada (UTC) pero no añade segundos intercalares periódicos para corregir las modificaciones en el periodo de rotación terrestre.
<b>Intervalo de época</b>	El intervalo de medición utilizado por un receptor GPS; también se denomina ciclo.
<b>Ionosfera</b>	La banda de partículas cargadas que está a unos 128 – 192 kilómetros sobre la superficie terrestre. Si se miden líneas base largas utilizando receptores de frecuencia simple, la ionosfera afecta la exactitud de las mediciones GPS.
<b>Iteración</b>	Un conjunto de cálculos de ajuste completo que incluye la formación de ecuaciones de observación, ecuaciones normales, ajustes de coordenadas, y cálculo de residuales.
<b>L1</b>	La portadora de banda L primaria utilizada por los satélites GPS para transmitir datos de satélite. La frecuencia es 1575,42MHz. Se modula por los códigos C/A, P y un mensaje de navegación.

<b>L2</b>	La portadora de banda L secundaria utilizada por los satélites GPS para transmitir datos de satélite. La frecuencia es 1227,6MHz. Se modula por el código P y un mensaje de navegación.
<b>Levantamientos cinemáticos</b>	Un método de topografía con GPS que utiliza ocupaciones breves del tipo Parar y Seguir, a la vez que mantiene el enganche con un mínimo de 4 satélites. Puede hacerse en tiempo real o con posprocesamiento con el fin de obtener precisiones centimétricas.
<b>Libre iono</b>	Una solución que utiliza una combinación de medidas GPS para modelar y quitar los efectos de la ionosfera en las señales GPS. Esta solución con frecuencia se utiliza para levantamientos de control importantes, particularmente cuando se observan líneas base largas.
<b>Límite PDOP</b>	Un parámetro del receptor que especifica un valor PDOP máximo para el posicionamiento. Cuando la orientación geométrica de los satélites genera un PDOP por encima del valor de la máscara de elevación, el receptor deja de calcular fijos de posición.
<b>Línea base</b>	La posición de un punto relativa a otro punto. En topografía GPS, es la posición de un receptor relativa a otro. Cuando se combinan los datos de estos dos receptores, se obtiene una línea base constituida por un vector tridimensional entre las dos estaciones.
<b>Línea base GPS</b>	Una medición tridimensional entre un par de estaciones para las que se han capturado y procesado con técnicas de diferenciación de datos GPS simultáneos. Representado como incremento X, incremento Y, e incremento Z; o acimut, distancia, e incremento de altura.
<b>Líneas base redundantes</b>	La línea base observada de un punto que ya ha sido conectada a la red por otras observaciones. Una línea de base redundante puede ser una

reobservación independiente de una medición anterior, o la observación de un punto desde otra base. Es redundante porque proporciona más información de la necesaria simplemente para determinar un punto. Sin embargo, las observaciones redundantes son muy útiles para comprobar la calidad de mediciones anteriores.

<b>Marco de referencia</b>	El sistema de coordenadas de un datum.
<b>Máscara de elevación</b>	Un ángulo normalmente configurado en 13 grados. Si se rastrean satélites por encima de este ángulo, se evitará la interferencia generada por edificios, árboles y errores por trayectoria múltiple.
<b>Máscara PDOP</b>	El valor PDOP más alto con el que un receptor calculará posiciones.
<b>Mensaje de datos</b>	Un mensaje, incluido en la señal GPS, que informa sobre la ubicación y condición de los satélites así como sobre las correcciones horarias. Incluye información sobre la condición de otros satélites así como su posición aproximada.
<b>Método de búsqueda al vuelo (OTF)</b>	El procesamiento de líneas base GPS, en tiempo real o con posprocesamiento, que requiere soluciones enteras fijas para obtener los mejores resultados. Históricamente, esta búsqueda se llevaba a cabo con mediciones capturadas con dos o más receptores estacionarios en sus puntos respectivos. Los receptores y software modernos pueden usar las medidas capturadas con un receptor móvil. Debido al movimiento del receptor, se dice que este tipo de datos se ha capturado// <i>vuelo</i> (OTF) y la búsqueda de! entero que utiliza estos datos se denomina <i>búsqueda OTF</i> .
<b>Mínimos cuadrados</b>	Un método matemático para el ajuste de observaciones, basado en la teoría de probabilidad. En este método de ajuste, se minimiza la suma de los cuadrados de todos los residuales ponderados.

<b>Modelado</b>	En algunos sistemas de coordenadas definidos, como por ejemplo el elipsoide, el modelado sirve para expresar una observación y sus errores relacionados matemática y geoméricamente.
<b>Modelo geoidal</b>	Una representación matemática del geoide para una zona particular, o para toda la Tierra. El software utiliza el modelo geoidal para generar separaciones geoidales para los puntos de la red.
<b>Modelo ionosférico</b>	El retraso temporal causado por la ionosfera varía en función del tipo de frecuencia de las señales GPS por lo que afecta a las señales L1 y L2 de forma diferente. Cuando se utilizan receptores de doble frecuencia para hacer observaciones, pueden usarse las observaciones de fase portadora para modelar y eliminar la mayor parte de los efectos ionosféricos. Cuando no haya disponibles mediciones de doble frecuencia, puede utilizarse el modelo ionosférico emitido por los satélites GPS con el fin de reducir los efectos ionosféricos. Sin embargo, la utilización del modelo de emisión no es tan eficaz como el uso de medidas de doble frecuencia.
<b>Modelo troposférico</b>	Las señales GPS se demoran en la troposfera. El tiempo que dura el retraso varía en función de la temperatura, la humedad, la presión, la altura de la estación sobre el nivel del mar y la elevación de los satélites GPS sobre el horizonte. Las correcciones a las medidas de fase y de código pueden realizarse utilizando un modelo troposférico que tenga en cuenta estas demoras.
<b>Modelos de centro de fase</b>	Un modelo utilizado para aplicar una corrección a una señal GPS basada en un tipo de antena específico. La corrección se basa en la elevación del satélite sobre el horizonte y modela variaciones eléctricas en la ubicación del centro de fase de la antena. Estos modelos resultan útiles para eliminar los errores introducidos cuando no se utilizan antenas idénticas en ambos puntos: el de móvil y el de la base.

**Módulo de cierre**

Los módulos de cierre indican la cantidad de error de un conjunto de observaciones de una red.

El módulo de cierre se calcula seleccionando un punto a partir del que se toman una o más observaciones, añadiendo una de esas observaciones a las coordenadas del punto, y calculando las coordenadas del segundo punto en ficción de esa observación. Este proceso se repite una o varias veces alrededor de un 'bucle' que finalmente termina en el punto de origen. Si no se produjo ningún error en las observaciones, la coordenada final calculada será exactamente igual que la coordenada de inicio original. Si se sustrae la coordenada calculada de la coordenada original se determina el error de cierre. Si se divide este error entre la longitud de la línea se permite expresar el error en partes por millón.

Esta técnica también puede utilizarse entre dos puntos diferentes cuando se conocen ambos puntos con un alto grado de precisión. También se denomina cierre poligonal.

**Móvil**

Cualquier receptor GPS y computadora de campo móvil que capture datos en el campo. Las posiciones capturadas por un receptor móvil pueden corregirse diferencialmente con respecto a un receptor GPS base estacionario.

**Nacional EE.UU.**

Una agencia gubernamental de Estados Unidos que mantiene el datum geodésico nacional y todas las redes de control geodésico de Estados Unidos y sus territorios.

**NAVDATA**

NAVADA es el mensaje de navegación de 1500 bits emitido por cada satélite GPS. Este mensaje contiene la hora del sistema, los parámetros de corrección horaria, los parámetros de modelos de retraso ionosférico, y la condición y efemérides del sistema. Un receptor GPS puede utilizar esta información para procesar las señales GPS y así obtener la posición y velocidad del usuario.

**Nivel medio del mar**

La altura media de la superficie del océano para

	todas las etapas de marea. Utilizado como referencia para las elevaciones.
<b>Normal</b>	En geodesia, la línea recta perpendicular a la superficie del elipsoide.
<b>Observación geoidal</b>	Una separación geoidal, con su error asociado, extraída de un modelo geoidal. A medida que el ajuste progresa, las observaciones se convierten en observaciones de geoide ajustadas.
<b>Observación redundante</b>	Una observación repetida, o una observación que contribuya a sobredeterminar una red.
<b>Observaciones GPS</b>	Una línea base GPS con errores asociados. A medida que el ajuste progresa, las observaciones se convierten en observaciones GPS ajustadas.
<b>Origen</b>	La intersección de los ejes de un sistema de coordenadas. El punto de origen.
<b>PDOP</b>	<p>Dilución de Precisión de Posición (Position Dilution of Precision)</p> <p>Una cifra sin unidades que expresa la relación entre el error de la posición del usuario y el error de la posición del satélite. Geométricamente, PDOP es proporcional a 1 dividido por el volumen de la pirámide formada por las líneas que van desde el receptor a los cuatro satélites observados. Se considera que los valores buenos para el posicionamiento son pequeños, como por ejemplo 3. Los valores superiores a 7 se consideran malos. Así, un valor PDOP bajo indica que los satélites están muy separados.</p> <p>La relación entre PDOP y los otros tipos DOP es:</p> $PDOP^2 = HDOP^2 + VDOP^2$
<b>Plataforma nivelante</b>	Dispositivo de centrado utilizado para el montaje de antenas GPS y otros instrumentos topográficos en trípodes.
<b>Posicionamiento diferencial</b>	La medición precisa de la posición relativa de dos receptores que rastrean los mismos satélites simultáneamente.

<b>Posproceso</b>	Procesamiento de los datos de satélite en una computadora después de su captura.
<b>PPM</b>	Partes por millón. Una representación estándar de un error de escala en las mediciones de distancia. Un error de 1 PPM producirá un error de medición de 1 milímetro por cada 1000 metros de distancia recorrida.
<b>Precisión</b>	La proximidad de una medida al valor real (verdadero) de la cantidad que se esta midiendo. Una medida de la proximidad de variables aleatorias alrededor de un valor calculado. Una alta precisión implica residuales pequeños. Generalmente se expresa como una parte, o alternativamente, en partes por millón.
<b>PRN</b>	Número pseudoaleatorio (Pseudorandom number). Una secuencia digital de 1's y 0's que parecen estar distribuidos al azar en forma de 'ruido', pero que pueden reproducirse con exactitud. Los códigos PRN tienen un valor de autocorrelación bajo para todos los retrasos o demoras excepto cuando coinciden totalmente. Cada satélite NAVSTAR puede identificarse con un código de ruido pseudoaleatorios C/A y P único, por lo que el termino <i>PRN</i> a veces se utiliza en vez de satélite GPS o SV.
<b>Prueba chi-cuadrado</b>	Una prueba estadística general del ajuste de la red, es una prueba de la suma de los cuadrados de ponderación de los residuales, el número de grados de libertad y una probabilidad critica del 95 por ciento o mayor. El fin de esta prueba es rechazar o aceptar la hipótesis de que los errores predichos se han calculado con exactitud.
<b>Prueba de aceptación de calidad</b>	Una o varias pruebas de evaluación del software realizadas con datos de mediciones GPS brutos con el fin de determinar si dichos datos cumplen con el conjunto de valores de tolerancia que usted ha

definido. Estas pruebas quitan datos para que no puedan continuar procesándose o los marcan indicando la necesidad de mejorar su calidad.

<b>Punto de control</b>	Un punto marcado cuyas coordenadas han sido, o van a ser asignadas con observaciones topográficas.
<b>Razón (Procesamiento)</b>	El mejor grupo de ambigüedades encontrado se compara con el segundo mejor grupo. Un criterio de calidad para el mejor grupo de ambigüedades es la razón entre los residuos ponderados para esta solución y la segunda mejor solución. Esta razón debe superar un valor dado para que Trimble Total Control pueda definir las ambigüedades como calculadas y la línea-base como aceptada (verde). Si la razón se encuentra por debajo de este valor, los resultados no serán aceptados (amarillo o rojo).
<b>RDOP</b>	Dilución de Precisión Relativa (Relative Dilution of Precision)
<b>Red</b>	Un conjunto de líneas base. Véase también red secundaria.
<b>Red estática</b>	Describe la geometría y orden en que se organizan y procesan las líneas base GPS capturadas con técnicas estáticas y estáticas rápidas. El procesador de líneas base examina primero el proyecto para localizar los puntos con las coordenadas de mayor calidad, y a continuación construye la red de procesamiento a partir de esos puntos. El resultado es un conjunto de líneas base estáticas que utilizan coordenadas iniciales precisas.
<b>Red secundaria</b>	Un conjunto de líneas base conectadas entre si por puntos de control comunes, e independientes (separadas) de cualquier otra línea base. En el software Trimble Total Control, una red puede estar formada por una o varias redes secundarias, y una red secundaria puede estar constituida simplemente por una línea base y dos puntos de control.
<b>Redundancia</b>	La cantidad por la que una red de control esta

sobredeterminada, o por la que tiene más observaciones de las imprescindibles para hacer estrictamente los cálculos de las partes de la misma.

<b>Residual</b>	La corrección, o ajuste, de una observación para lograr el cierre completo de una red de control. También se aplica a cualquier diferencia entre la cantidad observada y el valor calculado para dicha cantidad.
<b>Retraso del cenit</b>	El retraso, causado por la troposfera, de una señal GPS observada desde un satélite directamente por encima de la cabeza. A medida que el satélite se aproxima al horizonte, la trayectoria de la señal al atravesar la troposfera se hace más larga y el retraso aumenta.
<b>RINEX</b>	Formato de intercambio independiente de receptores. (Receiver INdependent EXchange format) Un formato estándar de archivo de datos brutos GPS que se utiliza para intercambiar archivos entre múltiples fabricantes de receptores.
<b>RMS</b>	Error cuadrático medio (Root Mean Square) RMS expresa la exactitud de la medición de un punto. Es el radio del círculo de error, dentro del cual van a encontrarse aproximadamente el 70% de los fijos de posición. Puede expresarse en unidades de distancia o en ciclos de longitudes de onda.
<b>RTK</b>	Cinemático en tiempo real (Real-time kinematic) Un tipo de levantamiento GPS.
<b>Salto de ciclo</b>	Una interrupción en el enganche del receptor en las señales de radio del satélite. El deslizamiento de ciclo impone el recalcu de las condiciones de ambigüedad del entero durante el procesamiento de líneas base.
<b>Separación geoidal</b>	La distancia entre el elipsoide y el geoide en un punto dado.

<b>Sesión</b>	Periodo durante el cual uno o más receptores GPS registran datos de medición del satélite.
<b>Sigma</b>	Un símbolo o término matemático del error típico.
<b>Sistema de coordenadas</b>	<p>Un conjunto de transformaciones que permiten que las posiciones GPS (del elipsosde WGS-84) setransformen en coordenadas de proyección con elevaciones sobre el geoide.</p> <p>Está constituido por una transformación de datum, un modelo geoidal asignado, y una definición de proyección de coordenadas.</p> <p>La transformación de datum se define en la base de datos de sistemas de coordenadas. Incluye la definición del datum en el que se basa la protección de coordenadas.</p> <p>Al sistema de coordenadas se le puede asignar un modelo geoidal existente, pero también es posible especificar una separación geoidal constante en vez de utilizar un modelo geoidal. Use la utilidad Administrador de sistemas de coordenadas de Trimble para definir modelos geoidales en la base de datos de sistemas de coordenadas.</p> <p>Se puede asignar algunos tipos de proyección de coordenadas a los sistemas de coordenadas (por ejemplo, Mercator transversal o Lambert de un paralelo). Los diversos países y regiones utilizan tipos de proyección diferentes con el fin de conseguir los mejores resultados (es decir, la mínima distorsión) en la proyección de las coordenadas. Los métodos de proyección de coordenadas proyectan los valores de latitud y longitud del datum apropiado a valores de coordenadas cartesianas. Las elevaciones de las coordenadas de proyección se logran utilizando el modelo geoidal asignado a los sistemas de coordenadas.</p>
<b>SNR</b>	<p>Razón Señal-Ruido (Signal-to-Noise Ratio)</p> <p>Una medida de la fuerza de la señal de un satélite. SNR va desde 0 (no hay señal) hasta 35.</p>

<b>SV</b>	Vehículo satélite o Vehículo espacial (Satellite Vehicle) (o Space Vehicle)
<b>Tau (valor)</b>	Un valor calculado a partir de una distribución de frecuencia interna basada en el número de observaciones, grados de libertad, y un porcentaje de probabilidad dado (95%). Este valor se utiliza para determinar si una observación no coincide con el resto de las observaciones del ajuste. Si el residual de una observación sobrepasa el tau, se marca como periférica. Las líneas tau en el histograma de residuales normalizados son las líneas verticales a la izquierda y la derecha del centro de la línea vertical.
<b>TDOP</b>	Dilution de Precision de Tiempo (Time Dilution of Precision).
<b>Tiempo de Ocupación</b>	La cantidad de tiempo requerida en una estación, o punto, para obtener un procesamiento de líneas base GPS con éxito. Este tiempo varía en función de la técnica topográfica, el tipo de receptor GPS utilizado, y la precisión requerida para los resultados finales. Los tiempos de ocupación pueden variar desde un par de segundos (levantamientos cinemáticos) a varias horas (control o levantamientos de deformación que requieren los niveles de precisión y repetibilidad más altos).
<b>Tipos de solución</b>	Una descripción de los datos y técnicas utilizados para obtener soluciones de línea base a partir de mediciones con GPS. Los tipos de solución típicos incluyen descripciones del tipo código, flotante y fijo/a. Estos describen técnicas utilizadas por el procesador de líneas base para obtener una solución de línea base. Los tipos de solución pueden también incluir descripciones del tipo: L1, L2, banda ancha, banda estrecha, o libre de ionosfera. Estos describen la forma en que se combinan las mediciones GPS para obtener resultados concretos.
<b>Toma aislada</b>	Una línea base observada sin redundancia.

<b>Transformación de datum</b>	<p>Define la transformación utilizada para transformar las coordenadas de un punto definido de un datum a las coordenadas de otro datum.</p> <p>El software Trimble Geomatics Office soporta varios métodos de transformación de datum diferentes:</p> <p>Siete parámetros</p> <p>Tres parámetros (también denominada Molodensky)</p>
<b>Trayectoria múltiple</b>	<p>Interferencia (similar a <i>fantasmas</i> en las imágenes televisivas) que se produce cuando las señales GPS llegan a la antena después de atravesar varias trayectorias. La señal que atraviesa la trayectoria más larga producirá una estimación de pseudodistancia mayor y aumentará el error. Las trayectorias múltiples pueden producirse debido a reflexiones en estructuras próximas a la antena.</p>
<b>UTC</b>	<p>Hora universal coordinada (Universal Time Coordinated)</p> <p>Una hora estándar basada en la hora solar local media en el meridiano de Greenwich. Véase también hora GPS.</p>
<b>Valores ajustados</b>	<p>Un valor derivado de los datos observados (medición) que resulta de aplicar un proceso de eliminación de errores en los datos de un ajuste de la red.</p>
<b>Variable (varianza) de referencia</b>	<p>El cuadrado del factor de referencia.</p>
<b>Varianza</b>	<p>El cuadrado del error típico.</p>
<b>VDOP</b>	<p>Dilution de precisión vertical (Vertical Dilution of Precision).</p>
<b>WGS-84</b>	<p>Sistema geodésico mundial (World Geodetic System (1984))</p> <p>El elipsoide matemático utilizado por el GPS desde enero de 1987.</p>

**X, Y y Z**

En un sistema cartesiano centrado en la Tierra, la X se refiere a la dirección del eje de coordenadas que va desde el origen del sistema al meridiano de Greenwich; Y al eje que va desde el origen  $90^\circ$  al este del meridiano de longitud, y Z al polo. En los sistemas de coordenadas rectangulares, X se refiere al eje este-oeste, Y al eje norte-sur, y Z al eje de altura.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

### Libros consultados.

- Moisés Abraham Calderón Sánchez, Gerson Enós Jiménez Cortez y Cecilia Ivonne Sarmiento Granados, DENSIFICACIÓN DE LA RED GEODÉSICA DEL MUNICIPIO DE ILOPANGO, DEPARTAMENTO DE SAN SALVADOR, Universidad Politécnica de El Salvador.
- Sergio Erinaldo Salazar Marroquín, GUIA PRÁCTICA PARA EL USO DEL RECEPTOR GPS DE MONOFRECUENCIA L1, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Torres Nieto, Álvaro, Topografía. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 4ª. Edición, 2001.
- A. Pozo-Ruz, A.Ribeiro, M.C. García-Alegre, SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS): DESCRIPCIÓN, ANÁLISIS DE ERRORES, APLICACIONES Y FUTURO, Instituto de Automática Industrial Consejo Superior de Investigaciones Científicas 28500 Arganda. Madrid.

### Páginas de Internet.

- <http://www.monografias.com/trabajos18/gps-solucion/gps-solucion.shtml>
- <http://www.isa.cie.uva.es/gps/GPSerrores.html>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/WGS84>

- <http://www.cdmagrimensura.com/img/servicios/adjunto-1.pdf>
- <http://es.scribd.com/doc/36063555/90/METODOS-DE-POSICIONAMIENTO-DIFERENCIAL-GPS>
- <http://www.precisiontopografica.com/manuales/gps/GPS%20Prctico%20e spaol.pdf>
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_de\\_posicionamiento\\_global#Historia](http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_posicionamiento_global#Historia)
- <http://www.reparacionestopograficas.com/~manuales/Manual3-GPS.pdf>
- <http://www.portalplanetasedna.com.ar/gps.htm>
- [http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Bol09/09\\_Amaya\\_ElSalvador.pdf](http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Bol09/09_Amaya_ElSalvador.pdf)
- <http://www.ngs.noaa.gov/CORS/>

### **Manuales**

- Manual Ashtech Proflex 500
- Guía básica de utilización FAST Survey Software
- Guía básica de utilización FAST Survey™
- Manual de Referencia GNSS Solutions™
- Alberto Sánchez Alzola, INTRODUCCIÓN A LA GEODESIA CONCEPTOS BÁSICOS, Laboratorio de astronomía, geodesia y cartografía, Dpto. de Matemáticas Facultad de Ciencias Universidad de Cádiz.