

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS

UNA VISION GENERAL DE GEODESIA CON GPS  
DESDE LA GEOGRAFIA



T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
LICENCIADO EN GEOGRAFIA

P R E S E N T A  
HILARIO PALOMINO CABAÑAS

Asesor  
Dr. Jorge Caire Lome

México D.F.

1999

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS  
COLEGIO DE GEOGRAFIA

275620

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

**Una visión general de Geodesia  
con GPS desde la Geografía**

PAGINACION

DISCONTINUA

**A mí asesor:**

**Dr. Jorge Caire Lomeli**

**Agradezco con toda sinceridad su apoyo brindado.**

**Porque sin conocerme, desde el principio del trabajo, me dio confianza y  
consejos prácticos.**

**Sus certeras observaciones contribuyeron al desarrollo de este trabajo.**

**A mi familia grande:**

**Mis padres : José Palomino y Reina Cabañas.**

**Mis Hermanos: Alejandro, Gastón y Clemente.**

**Siempre han estado en mi por sus virtudes y defectos.**

**A mi familia pequeña:**

**Ana, Karitzin y Tanía.**

**La vida es contradictoria, porque para obtener en una meta se cambia el tiempo de trabajo individual por la convivencia familiar.**

**Son la razón actual de este esfuerzo, y futura de mis próximas metas.**

**A mis amigos y compañeros de trabajo:**

**Con ellos he aprendido a respetar la forma de ser y costumbres diversas.**

**Con ellos he vivido experiencias y anécdotas difíciles de olvidar.**

**En especial para:**

**Rafael Alzate, Tomás Amaya, Juan Moreno, Gilberto Aguilar y José Luis García:**

**amigos geógrafos, topógrafos y agrónomos que hacen su trabajo con vitalidad y**

**sentido humano.**

**Sus pláticas y comentarios motivaron, en parte, este trabajo.**

# **CONTENIDO**

## **Capítulo I      Introducción**

1.1	Planteamiento del problema .....	1
1.2	Hipótesis .....	2
1.3	Objetivos .....	2
1.3.1	Generales ..	3
1.3.2	Específicos .....	3
1.4	Las bases del geógrafo .....	4

## **Capítulo II      Geodesia, Astronomía de posición, Cartografía y GPS**

2.1	Geodesia tradicional .....	11
2.1.1	Propósitos de Geodesia .....	13
2.2	Modelos clásicos de referencia .....	14
2.2.1	Solución geométrica de la elipse en coordenadas xy .....	14
2.2.2	El achatamiento .....	15
2.2.3	Excentricidad .....	15
2.3	Elipsoide de revolución achatado .....	16
2.3.1	Relaciones geométricas del elipsoide .....	18
2.4	El geoide .....	19
2.4.1	Su definición física .....	19



2.4.2	Observaciones gravimétricas .....	20
2.4.3	Mareas terrestres .....	21
2.4.4	Ecuaciones para determinar la anomalía de gravedad .....	22
2.5	Datum .....	23
2.5.1	Metodología clásica para establecer un datum .....	23
2.5.2	Datum horizontal .....	23
2.5.3	Datum norteamericano de 1927 (NAD27) .....	24
2.5.4	Datum vertical .....	24
2.5.5	El control geodésico horizontal y vertical .....	24
2.5.6	La ecuación de LAPLACE .....	26
2.5.7	NAD 1983 .....	28
2.6	Posición astronómica de un lugar .....	28
2.6.1	Sistema de coordenadas horizontales .....	29
2.6.2	Sistema de coordenadas ecuatoriales .....	30
2.6.3	Conceptos clásicos del tiempo .....	31
2.6.4	Transformación de coordenadas horizontales en ecuatoriales .....	34
2.6.5	Determinación de la latitud .....	36
2.6.5.1	Procedimiento de observación .....	37
2.6.5.2	Procedimiento de cálculo .....	37
2.7	Cálculo del Acimut .....	40

2.7.1	Procedimiento de observación .....	40
2.7.2	Procedimiento de cálculo .....	41
2.8	La longitud de un lugar .....	41
2.8.1	Cálculo de la longitud .....	42
2.9	La Cartografía .....	43
2.9.1	La proyección: su definición .....	43
2.9.2	Las proyecciones .....	44
2.9.3	Proyección Universal Transversa de Mercator (UTM) .....	45
2.9.3.1	La definición teórica .....	47
2.10	Geodesia satelital o Geodesia por satélite .....	48
2.10.1	Naturaleza física de la señal satelital .....	48
2.10.2	El principio de las ondas electromagnéticas producidas por los satélites .....	49
2.10.3	Ondas Hertzianas .....	50
2.10.4	Elementos físicos del Sistema de Posicionamiento Global .....	51
2.10.4.1	Los componentes de un satélite y sus funciones .....	51
2.10.5	La constelación de Navegación Satelital (NAVSTAR).....	53
2.10.6	El segmento de control .....	55
2.10.7	Los principios básicos en la operación del GPS .....	58

2.10.7.1	Datum satelitario .....	58
2.10.8	El Sistema Geodésico de Referencia .....	59
2.10.8.1	El Sistema Geodésico Mundial 1984 (WGS84) .....	59
2.10.8.2	El Sistema Geodésico de Referencia 1980 (GRS80).....	61
2.10.8.3	La Red del Sistema de Referencia Internacional: coordenadas ITRF92. Época 1988 .....	62

### **Capítulo III La estructura operativa de los trabajos de geodesia dentro del PROCEDE**

3.1	Normas técnica de los levantamientos geodésicos .....	66
3.2	Tipos de levantamientos geodésicos .....	66
3.3	Etapas de los levantamientos geodésicos .....	67
3.4.1	El esquema operativo del Programa PROCEDE .....	72
3.5	Planeación del levantamiento con GPS .....	75
3.5.1	Integración del proyecto de medición.....	75
3.5.2	Análisis del anteproyecto de medición .....	76
3.5.3	Planeación del levantamiento .....	76
3.5.4	Estrategia de medición .....	77
3.6	Métodos de medición con equipo posicionador GPS .....	78
3.6.1	Método estático .....	78
3.6.2	Método estático rápido tradicional .....	79

3.6.3	Método cinemático tradicional .....	80
3.6.4	Método pseudo cinemático .....	81
3.6.5	Método cinemático PNAV (OTF) .....	81
3.6.6	Método estático rápido PNAV .....	82
3.7	El tipo de posicionador y sus características .....	82
3.7.1	Equipo posicionador del GPS antena – receptor DIMENSION .....	82
3.7.2	Equipo GPS posicionador P12 y Z12 con antena SWAP polarizada .....	84
3.8	Pantallas del posicionador del GPS Z12 .....	85
3.9	Recepción de datos .....	96
3.9.1	Archivo B de la información binaria de la señal satelital .....	97
3.9.2	Archivo E de efemérides de los satélites .....	99
3.9.3	Archivo S datos del sitio .....	100
3.10	Ecuaciones generales de Observación GPS .....	100
3.10.1	Ecuación de las ambigüedades .....	101
3.10.2	Ecuación de pseudorangos, posición y tiempo GPS .....	101
3.10.3	Ecuación de dobles diferencias entre receptores y satélite .....	102
3.10.4	Ecuaciones de triple diferencia entre receptores, satélites y épocas .....	103
3.10.5	Ecuación de la definición geométrica .....	104

3.10.6	Matriz de diseño del algoritmo del receptor GPS .....	106
3.10.7	Ecuaciones de efectos ionosféricos y troposféricos .....	107
3.11	Pos proceso de información colectada en campo .....	108
3.11.1	El programa GPPS .....	109
3.11.2	El programa PNAV .....	112
3.11.2.1	Los parámetros de ejecución o filtro de KALMAN .....	113
3.12	Los principios estadísticos para el análisis de la información generada por el GPS .....	117
3.12.1	El concepto de probabilidad .....	118
3.12.2	El concepto de población .....	119
3.12.3	La media aritmética .....	120
3.12.4	Los errores en las observaciones .....	120
3.12.5	Error medio y medio cuadrático .....	122
3.12.6	La varianza y la desviación estándar .....	122
3.12.7	El peso de una observación .....	124
3.12.8	El concepto de mínimos cuadrados .....	125
3.12.9	El valor más probable de la media pesada .....	126
3.12.10	El ajuste por mínimos cuadrados del programa GEOLAB .....	127
3.12.11	Análisis del archivo LST del ajuste de GEOLAB .....	127

## **Capítulo IV Conclusiones y propuestas**

4.1	Sumario .....	135
4.2	Transversa Modificada Ejidal: meridiano central óptimo .....	135
4.3	Desarrollo del operativo en campo: problemática .....	139
4.4	Las brigadas de geodesia del D.F afinan la información .....	139
4.5	Condiciones ideales para realizar el trabajo con equipo GPS .....	141
4.6	Estrategias de medición con posicionador del GPS según las condiciones del terreno .....	142
4.6.1	Estrategia 1: para terrenos con condiciones abruptas y de difícil acceso .....	142
4.6.2	Estrategia 2: para terrenos en laderas con pocos obstáculos de interferencia de la señal satelital .....	142
4.6.3	Estrategia 3: para terrenos sin obstáculos que interfieran la señal satelital .....	143
4.7	Propuesta para el análisis de la información del posicionador del GPS en campo .....	144
4.8	El currículum del geógrafo: conclusión .....	147
	<b>Referencia Bibliográfica</b> .....	149

Anexo 1 Archivos de información GPS

Anexo 2 Archivo SDRMAP.GEO E.T

Anexo con carta de diagrama de operaciones del control ejidal.

# *Capítulo I*

## *Introducción*

## 1.1 Planteamiento del problema

Idealmente, los egresados deben tener una preparación que les permita enfrentar ventajosamente el mercado laboral. Cuando se consigue un trabajo y se exige aplicar los conocimientos se da una cuenta de la carencia de formación en el manejo de aparatos de nuevas tecnologías o se soslaya la importancia de las bases teóricas que se adquirieron en la escuela.

Por otro lado, se reciben cursos de capacitación técnica para el trabajo. Se asiste a ellos por el compromiso laboral y no porque estemos interesados en formarnos. Se sufre una especie de rechazo hacia aquellos conocimientos que no corresponden con el supuesto modelo profesional para el que se fue educado en la universidad. Es una inercia inconsciente, donde se menosprecian los conocimientos técnico- prácticos por considerar que no se adaptan a la idea de lo que debería ser la carrera para la que fuimos formados en la universidad.

La mayoría de los egresados pensamos que por el hecho de haber ido a la universidad nuestro ciclo de aprendizaje terminó junto con la última clase, y que como profesionistas nos queda únicamente aplicar los conocimientos adquiridos.

Se trata de un círculo vicioso. Porque en la universidad no fue sólida nuestra formación práctica en instrumentos de nueva tecnología. Y cuando se tiene la oportunidad de reforzar las carencias a través de cursos de capacitación, no los hacemos aunque estamos deseosos de aplicar lo que aprendimos en la escuela. Y si tomamos los cursos, no alcanzamos a conjugarlos con nuestra formación adquirida. Además, los cursos son tan especializados en el uso y manejo de equipo, que ya no abordan las bases del funcionamiento de éste (en este caso GPS)<sup>1</sup>, bases que debimos haber aprendido en la universidad. Se cierra el círculo, porque lo único que se sabe hacer es operar el equipo, la computadora o el programa de cómputo y nada más.

---

<sup>1</sup> Por sus siglas en inglés: Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento Global).



La mayoría de profesionales que laboramos en el operativo de campo del programa PROCEDE<sup>2</sup> padecemos en alguna medida el estado de ánimo anterior. Consecuentemente, esa inercia nos encamina para seguir arrastrando un desinterés por reforzar los conocimientos adquiridos en la universidad.

En la tesis intentamos dar respuesta a las siguientes preguntas:

- ¿ Por qué los conocimientos de Geodesia, Topografía y Cartografía son básicos para entender el funcionamiento del Sistema de Posicionamiento Global (GPS)?
- ¿ Cómo es utilizado el Sistema de Posicionamiento Global por las brigadas de geodesia del Distrito Federal, dentro del programa PROCEDE?

## 1.2 Hipótesis

Los operadores, técnicos y personas encargadas de planear y asignar las cargas de trabajo a las brigadas del Distrito Federal, tienen carencias en el conocimiento de los fundamentos teóricos del Sistema de Navegación Satelital en Tiempo y Distancia (NAVSTAR - GPS)<sup>3</sup>, esto impide proponer con bases teóricas y metodológicas soluciones prácticas para la obtención de mejores resultados al utilizar los equipos GPS en los estados del Sudeste del país. Las soluciones se han ido planteando en forma empírica, pero no es posible generalizarlas y aplicarlas en todo el país sin contar con el sustento teórico.

El currículum académico del geógrafo sienta las bases teóricas mínimas indispensables para revisar el sistema de Navegación Satelital en Tiempo y Distancia NAVSTAR – GPS. Asimismo, proporciona la información necesaria para profundizar en el conocimiento de la Geodesia, la Cartografía y, desde ahí, entender de forma global los levantamientos con GPS dentro del programa PROCEDE.

---

<sup>2</sup> Programa de Certificación de Derechos Ejidales.

<sup>3</sup> Por sus siglas en inglés Nevegation Satellite Time and Ranging – Global Positining System.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Generales**

1. Exponer brevemente el contenido de algunas materias del currículum académico de la licenciatura en Geografía, que sirvan de base teórica para plantear en forma general los conceptos de Geodesia, Astronomía de Posición y Cartografía, mismos que son básicos para entender el funcionamiento del GPS.
2. Hacer una síntesis de los principales conceptos de Geodesia, Cartografía y el sistema NAVSTAR-GPS.
3. Exponer los principales métodos de medición con el GPS, que realizan las brigadas del D.F.
4. Hacer una práctica con equipo del GPS, para mostrar parte de los procedimientos técnico operativos que realizan las brigadas del D.F., y presentar los resultados.
5. Tomando como referencia las bases teóricas, analizar algunas de las soluciones empíricas que se han propuesto para mejorar los posicionamientos con equipo del GPS.
6. Exponer algunos de los problemas que las brigadas del Distrito Federal enfrentan con el GPS, en el sudeste del país.
7. Sistematizar la bibliografía que sobre los fundamentos teóricos de Geodesia y Cartografía se han investigado y aprendido en el área de trabajo donde se realiza la actividad profesional.

#### **1.3.2 Específicos**

1. Hacer un marco de referencia teórico para analizar los problemas prácticos y correlacionarlos con las soluciones empíricas que se han propuesto.
2. Desarrollar un capítulo exponiendo conceptos teóricos de Geodesia, Cartografía y GPS.
3. Analizar el funcionamiento teórico de Sistema de Posicionamiento Global.
4. Describir los procedimientos metodológicos oficiales para un levantamiento con equipo GPS.
5. Analizar los resultados de un levantamiento con GPS

6. Presentar en forma ordenada los problemas más comunes que se tienen cuando se utilizan los receptores de la señal satelital.

7. Describir algunas propuestas para mejorar los levantamientos con GPS.

#### **1.4 Las bases del geógrafo**

El geógrafo recibe en su formación elementos para el conocimiento teórico general del espacio geográfico mundial. El manejo y asimilación de la información a esta escala permite ubicar las coordenadas del origen de la geografía, su evolución y tareas universales. Esta base teórica, a su vez, permite conocer la organización de la distribución espacial de procesos físicos, sociales y económicos, cada uno de los cuales por sí solo puede constituirse en un fenómeno geográfico si tiene una expresión física espacial o socio- espacial.

Las teorías y los métodos de la Geografía General se encargan de estudiar esos casos, y entre sus principales instrumentos técnicos destaca la base cartográfica- a distintas escalas y diversas proyecciones -, concebida no solo para representar datos físicos, sino también como herramienta de análisis y como un posible modelo de simulación de hechos o procesos analizados.

El geógrafo adquiere bases científicas generales, todas ellas fundamentales para el entendimiento de los espacios geográficos mundial y nacional. Por supuesto, buena parte de la formación del geógrafo está concentrada en el conocimiento del territorio nacional y no podría ser de otra manera. En cualquier lugar de ese territorio desarrollará su carrera profesional y aplicará sus conocimientos.

El territorio nacional es el gran laboratorio donde el geógrafo investigará el comportamiento espacial de los fenómenos geográficos. En otras palabras, el conocimiento teórico metodológico y técnico del geógrafo le proporciona las bases científicas para estudiar, en primera instancia, el territorio nacional y de ahí escoger hacia afuera o hacia adentro cualquier escala de estudio. Si es hacia adentro puede ser nacional, regional, municipal o microespacial.

En el nivel nacional, la formación del geógrafo permite conocer el proceso de desarrollo donde interactúan los sectores de la economía con los recursos naturales, humanos y de infraestructura. Donde esos niveles de conocimiento quedan sintetizados y coherentes, es en la Geografía de México y Geografía Regional de México.

En otro sentido, el geógrafo recibe bases teórico - metodológicas propias de su ciencia, que le permiten analizar sintéticamente, a cualquier escala, procesos con expresión territorial.

La formación no señala un método único a seguir, pero sí brinda implícitamente las bases de algunos, como por ejemplo, el método de análisis regional o histórico. De hecho, todos los métodos tienen un objetivo común: dar las coordenadas para entrar en el conocimiento y entendimiento de la organización del territorio nacional. Dependerá de los gustos e inclinaciones personales de cada geógrafo adoptar el camino metodológico más adecuado a sus fines.

Por otro lado, nuestra metodología tiene dos hilos comunicantes entre la teoría y la realidad. En un sentido, están los modelos teóricos que representan la tierra – geoide alturas y elipsoide áreas - que junto con la proyección Universal Transversa de Mercator (UTM) son utilizados para los trabajos de Geodesia Satelital y para la elaboración de los planos cartográficos del INEGI.

En otro sentido, tenemos el trabajo de campo común con otras ciencias. Pero se distingue como propios de nuestro trabajo por el sentido como se emplea en la geografía. El objetivo es mantener un aprendizaje directo acerca de las distintas regiones del país y desarrollar las habilidades para la investigación de gabinete.

Los mapas son empleados bajo dos lineamientos generales: como modelos para captar y representar información - común con otras ciencias - y como modelos de análisis comparativos de la ordenación territorial. El trabajo de campo es el ensayo donde se compara el modelo - mapa - con la realidad.

En todas las etapas formativas hay prácticas de campo. La mayoría de las materias realizan trabajo de campo. Independientemente de los objetivos de cada materia, éstas cumplen, entre otros, los aspectos siguientes: planeación del trabajo en campo - trabajo de gabinete - mediante la utilización de cartas, croquis e insumos básicos para realizar el levantamiento de información geodésica- integración de anteproyecto -, reconocimiento de las condiciones topográficas, vías de comunicación, tipo de vegetación y grado de crecimiento – análisis de anteproyecto -.

Para definir la estrategia de medición comparamos el programa de levantamiento con las condiciones reales a la hora de iniciar la medición. En la escuela, aprendimos a hacer análisis comparativos entre los elementos representados en el mapa y la información recolectada en la práctica.

Consecuentemente, las practicas de campo y el uso de la cartografía son elementos comunes con la metodología desarrolladas en el PROCEDE (cap.4.4).

Asimismo, como parte del acervo cultural general, el geógrafo estudia un conjunto de ciencias y disciplinas básicas para entender la dinámica particular de los fenómenos físicos, sociales y económicos. Por medio de ellos identifica distintos patrones mundiales de distribución espacio temporal a escala mundial o nacional.

Las matemáticas y la estadística permiten organizar lógicamente el pensamiento del geógrafo y proporcionan las herramientas técnicas de gran valor para calcular las mediciones en campo y en gabinete en el programa PROCEDE.

La Cartografía proporciona los elementos teóricos y matemáticos para entender proyecciones tales como la UTM, representar las mediciones geodésicas y hacer las comparaciones con las topográficas.

La Topografía, la Fotogrametría y la Geodesia geométrica y física proporcionan procedimientos prácticos para los levantamientos con brújula y cinta, para la ubicación y desarrollo de las poligonales, para la medición de los vértices de apoyo terrestre para fotografía aérea y conformar una metodología para producción cartográfica donde se represente el espacio geográfico.

Por último, las herramientas técnicas como las matemáticas, estadísticas comunes a todas las ciencias se utilizaron para analizar y sintetizar los procedimientos matemáticos usados por los softwares que procesan la información que recogemos con los equipos de GPS.

Todos estos elementos en su conjunto nos permitieron involucrarnos en el análisis general de la metodología del GPS.

La exposición anterior es un planteamiento general que se desprende del curriculum del geógrafo. En el mismo sentido éste permitirá hacer una síntesis de los principales conceptos de Geodesia, Cartografía y GPS, analizar la metodología del PROCEDE, y analizar la metodología de un levantamiento con GPS.

Cabe aclarar que a la hora de aplicar esos conocimientos, fue cuando inició el proceso de curiosidad empírica, al ir surgiendo dudas como las siguientes: ¿Cuáles son los fundamentos geométricos y matemáticos que debemos manejar para entender el funcionamiento del Sistema de Posicionamiento Global?

¿Cómo funcionan los programas para el procesamiento de la información satelital?

¿Cómo influyen las condiciones geográficas de los ejidos sobre los trabajos de geodesia satelital?

¿De qué manera afectan los procesos geográficos en la recepción de la señal satelital?

El Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) es un centro laboral donde trabajan profesionales y técnicos de distintas carreras, incluidos los geógrafos. Asimismo, es el organismo rector encargado de recoger, sistematizar y difundir información geográfica, estadística,

cartográfica e informática del país. Dicta las normas jurídicas para los trabajos de levantamiento geodésicos, topográficos y fotogramétricos. En la actualidad para desarrollar sus distintos programas utiliza la más avanzada tecnología. Dentro del INEGI, el Programa de Certificación de Derechos Ejidales (PROCEDE) esta utilizando el GPS para desarrollar sus distintas áreas de trabajo. En el PROCEDE en los 32 estados de la República hay departamentos de geodesia, donde laboran sin ser geodestas, topógrafos, geógrafos, agrónomos, civiles, arquitectos, mecánicos, químicos, psicólogos, dentistas y hasta choferes que hacen levantamientos de geodesia satelital. Como se trata de una técnica que no requiere una formación especializada en su manejo, se pierde el interés por adquirir una formación desde sus fundamentos y no hay ánimo para desarrollar con mejores bases la actividad que realizamos. Esto se debe a que el 85% del personal del PROCEDE son profesionales que están fuera del área para la cual fueron formados.

En el PROCEDE, todos hemos sido capacitados para ser operadores de un equipo o programa de cómputo (pulsas - teclas o paqueteros). Recibimos cursos de capacitación y actualización, pero son muy superficiales y repetitivos. En ellos se revisan siempre los mismos manuales y ocasionalmente llegan a nuestras manos artículos o capítulos de libros sobre el tema, pero sin referencia bibliográfica. El conocimiento recibido de esta manera no es suficiente para plantear soluciones, porque deja muchas deficiencias de tipo teórico y práctico, que finalmente se reflejan en el trabajo. Antes como estudiantes y ahora como trabajadores arrastramos un mal hábito formativo. Porque mientras los trabajos de geodesia cumplan con las especificaciones técnicas requeridas y se apliquen una serie de procedimientos técnicos, cualquier profesionista, técnico o persona con nivel básico puede operar un equipo de GPS. Es muy fácil caer en la pasividad, al ignorar la utilidad de un conocimiento y verlo ajeno a una práctica profesional.

Un operador es el encargado de cuidar que su equipo esté bien conectado, que el tripie este centrado y nivelado, orientar la antena al norte, y en algunos casos despejar de vegetación para recibir bien la

señal de los satélites. Es decir, si el equipo trabaja bien no hay de qué preocuparse ¿Para qué aprender más de la geodesia satelital si el equipo lo hace todo? Sin embargo, hay ocasiones cuando están dadas las mejores condiciones para recibir la señal y no resultan las mediciones, o cuando se tienen que plantear soluciones y no se cuenta con las bases suficientes para dar respuestas satisfactorias. Entonces operamos un equipo GPS y utilizamos varios programas de cómputo para procesar la información, generamos archivos con las coordenadas geográficas de los ejidos, elaboramos un formato de dibujo y los planos de las tierras ejidales. Tenemos conocimientos prácticos y resultados concretos, sin embargo, nuestro conocimiento sobre los fundamentos teóricos del GPS, Geodesia, Cartografía, matemáticas y programas de computo de este sistema es ambiguo. Por otro lado, los profesionistas que somos del área de ciencias de la tierra, que trabajamos en el PROCEDA tenemos una actitud distinta hacia nuestro trabajo. Nos interesa superar algunas deficiencias en nuestra formación y hemos llegado a la conclusión de que es importante consolidar nuestros conocimientos de Geodesia, Topografía, Fotogrametría y Cartografía. Este interés ha permitido plantear soluciones a problemas prácticos, investigar y sistematizar conocimientos sobre el tema.

Como se vio arriba, parte de la formación que se recibe en la carrera de Geografía nos da los elementos de juicio teóricos y de información suficientes para desarrollarnos profesionalmente dentro de este programa.

La Geodesia es una ciencia muy antigua, ligada a la Cartografía y la Geografía. En la actualidad ha tenido un avance muy importante porque es la base para el desarrollo de los sistemas de satélites artificiales de cualquier tipo: desde meteorológicos, de comunicación, de investigación, de navegación, de medición, etc.

En México, son contados los geodestas o cartógrafos, y en su mayoría son topógrafos.

Mundialmente son matemáticos de formación.



En el país y en la UNAM hay únicamente dos carreras que tienen dentro de su currículum académico la materia de geodesia, una está dentro de la carrera del geógrafo y la otra dentro de la carrera del topógrafo.<sup>4</sup> En consecuencia desde nuestra perspectiva, **la Geografía es una de las carreras directamente más involucrada con la Geodesia y Cartografía.**

El GPS es actualmente la base para las mediciones topográficas, para la planeación de la navegación, la toma de fotografías aéreas, la producción cartográfica, la conformación de los Sistemas de Información Geográfica, la medición de los desplazamientos de la deriva continental y el registro del movimiento de los glaciares en los polos terrestres, entre otras aplicaciones. (Fernández, B. 1987 "El Sistema de Posicionamiento Global aplicado a la tectónica de placas" *Cartográfica*: 171-207)

En síntesis, el interés por profundizar en el conocimiento la Geodesia y del GPS no debería ser exclusivo de los que trabajamos en PROCEDE y tampoco de los topógrafos o geofísicos. Como geógrafos también tenemos algo que aportar. A continuación se exponen los conceptos básicos de Geodesia y del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) desde la óptica de un geógrafo.

---

<sup>4</sup> A partir del primer semestre de 1991, en el currículum del topógrafo - geodesta está la materia de Geodesia por Satélite

## **Capítulo II**

**La Geodesia,  
la Astronomía de posición,  
la Cartografía y  
el Sistema de Posicionamiento Global (GPS)**

## 2.1 Geodesia tradicional

Geodesia es la ciencia que estudia la forma y dimensiones de la Tierra. Determina la posición exacta de puntos sobre la superficie terrestre. Todas las mediciones que hace toman en cuenta la curvatura de la tierra. Las ciencias donde se apoya son la Geometría analítica y la esférica, la Topografía y la Astronomía de posición (Rafael Sosa Torres. 1980 "La Geodesia al alcance de todos" *Cartográfica No.38: 7-8*).

Antes del desarrollo tecnológico y del uso de tecnología satelital, la Geodesia era la ciencia encargada de dar posición geográfica sobre la superficie de la tierra. El topógrafo especializado en geodesia era el encargado de hacer los cálculos necesarios para determinar la latitud, longitud y altitud de un lugar y dar posición astronómica a una línea a partir de la cual se propagan coordenadas.

Encontrar una posición sobre la superficie terrestre no ha sido una tarea de mero interés científico, ni de las necesidades actuales de levantamientos geodésicos por el método satelital. Desde la antigüedad, fue una preocupación de los griegos saber la forma de la tierra. En la Edad Media y el Renacimiento científico la ubicación geográfica estuvo ligada a la navegación marina y la cartografía, en los siglos XVII y XVIII continuo ligada a la cartografía y al desarrollo de la astronomía, y fue hasta el siglo pasado cuando consolida sus bases como ciencia independiente. En el siglo XX, continuó el interés científico por la Geodesia, pero sobre todo se la liga más a necesidades prácticas como por ejemplo, hacer el manifiesto de una mina, ligar el control del trazo de una vía de comunicación, expropiar el terreno para la explotación de un pozo petrolero, ligar a puntos de control primario, la densificación de una red urbana, etcétera...

Para el geógrafo, la utilización de la Geodesia ha tenido una implicación de interés científico e íntimamente ligado a la Cartografía. Uno de los primeros trabajos de carácter geodésico lo realizó el geógrafo Eratóstenes, sabio director de la biblioteca de Alejandría, en Egipto. Eratóstenes logró calcular la circunferencia de la Tierra sin ningún instrumento de medición. Por observación

descubrió que al medio día del solsticio de verano los rayos del sol se reflejaban en el fondo de un pozo de la ciudad de Siena, y al mismo tiempo en Alejandría los rayos caían con cierta inclinación y proyectaban una sombra sobre una estaca vertical. Con agudeza Eratóstenes dedujo que la sombra proyectada representaba  $7^{\circ} 12'$  debajo del cenit, o sea  $1/50$  del círculo. Creía que Siena estaba al sur de Alejandría, por tanto el ángulo que forman desde el centro de la Tierra el radio de cada ciudad era también  $1/50$  del círculo. Además, él sabía que la distancia entre las dos ciudades era de 5000 estadios. Midió la distancia por el número de vueltas de un carro (Caire, Lomeli Jorge. 1998 "Gravimetría y mareas terrestres" Ponencia: 8). Esa cantidad la multiplicó por 50, que es el valor del perímetro del círculo, de ahí que la circunferencia terrestre debería ser de 250 000 estadios.

Se supone que la longitud de un estadio egipcio era aproximadamente de 160 metros. Si se multiplica 250 000 por 160 metros da como resultado una circunferencia terrestre de 40 000 kilómetros, muy cercano a los valores actuales.

Newton también hizo una contribución a la Geodesia. En uno de los apartados de sus "Principios" postuló que la Tierra tenía una forma ligeramente elipsoidal más que esférica, como se había supuesto antes. Con una nueva teoría de la gravedad, le fue posible confirmar sus predicciones utilizando mediciones de tiempo con relojes de péndulo. Newton sabía que los relojes que daban el tiempo en el observatorio de París marchan más lentamente en el ecuador debido a que la aceleración de la gravedad es ligeramente más débil. Con sus observaciones dedujo que la Tierra está más elevada en el ecuador que en los polos, con su modelo elipsoidal cálculo las diferencias entre las longitudes del radio ecuatorial y el polar, es decir, resolvió el achatamiento terrestre.

En 1736 el astrónomo Jaques Casino, por medio de la Real Academia de Ciencias de París, organizó una expedición a Laponia y a Perú para realizar la medición precisa de ángulos y distancias, y determinar la longitud de un par de arcos de meridiano."... Con las latitudes de los extremos de los

arcos medidas astronómicamente, pudo determinarse la curvatura de los arcos y calcularse el radio de la Tierra y su aplastamiento (Langley Richard B. 1991 "Geodesia básica para GPS" *Cartografía* 59: 71-72).

En los siglos posteriores la medición de los arcos para definir el radio y aplastamiento terrestre, se fue refinando hasta alcanzar buenas precisiones. Y justamente desde entonces, ya sea por interés científico o práctico, fueron estos los "métodos tradicionales" de levantamientos geodésicos, que se han seguido utilizando hasta el uso reciente de los satélites artificiales para calcular el elipsoide, el geoide, y los parámetros del Datum.

En las últimas décadas en los países desarrollados, y más recientemente en nuestro país, el sistema TRANSIT y GPS ha estado sustituyendo a los levantamientos geodésicos "tradicionales". Sin embargo éstos no van a desaparecer, ya que seguirán siendo una de las bases a partir de las cuales se apoyan dichos sistemas. Y en la práctica, hay países que no tienen la solvencia económica para utilizar aparatos costosos. Además, sin estos principios sería difícil entender la mayoría de procesos que se realizan con el GPS.

### **2.1.1 Propósitos de la Geodesia**

Algunos de los propósitos de la Geodesia tradicional son (Sosa... 1980 Op.cit: 72):

1. Establecimiento y mantenimiento de controles geodésicos tridimensionales de alcance nacional y global sobre tierra firme, reconociendo las características de variación de redes en el tiempo.
2. Determinación del campo de gravedad de la Tierra incluyendo variaciones temporales (Gravimetría). Medición y representación de *fenómenos geodinámicos* como el movimiento polar, mareas terrestres, movimiento de la corteza (Geodesia Física).

3. En Geodesia y Cartografía, la superficie topográfica o superficie terrestre no es un marco confiable para hacer cálculos matemáticos precisos en triangulaciones de grandes distancias. Para esto son utilizados los cálculos del elipsoide y el geoide como modelos que sirven de referencia al hacer los cálculos matemáticos.

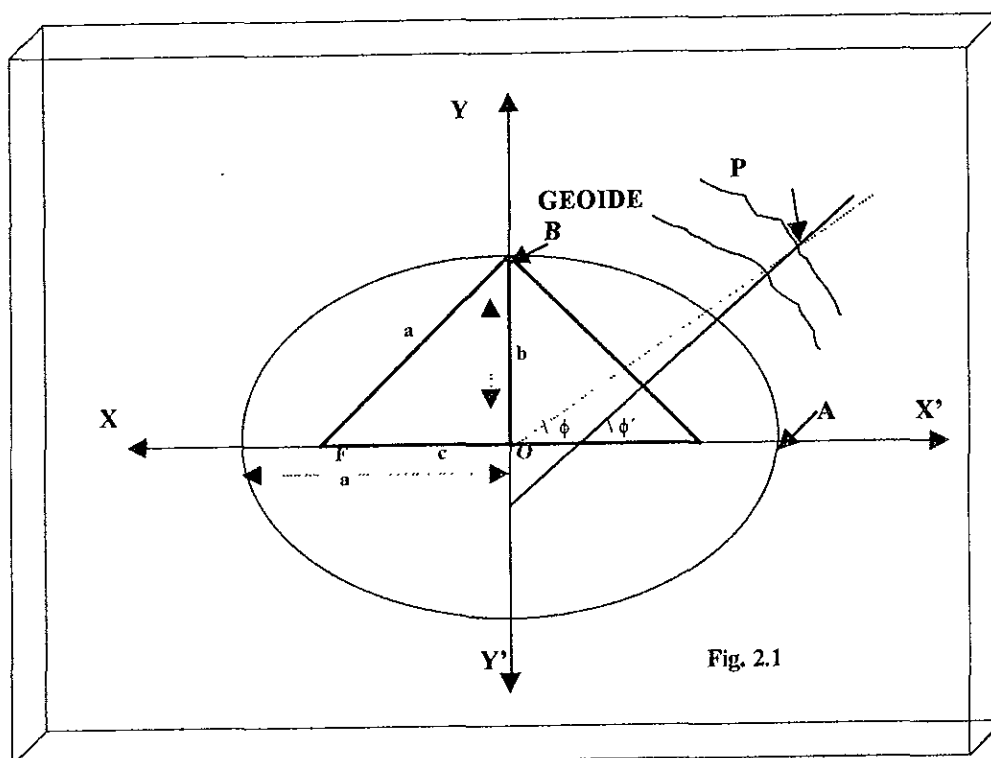
## 2.2 Modelos clásicos de referencia

### 2.2.1 Solución Geométrica de la elipse en coordenadas ortogonales X, Y

Longitud semieje mayor  $a = OA = BF$

Longitud semieje menor  $b = OB$

Distancia focal  $c = OF$



Por definición  $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \dots (1)$  (Lehmann Charles H. 1980. Geometría Analítica: 175)

Para el triángulo OFB siguiendo el teorema de Pitágoras:  $a^2 = b^2 + c^2 \dots (2)$

Se puede calcular a, b y c; OF  $a^2 = b^2 + c^2$ ;  $a = \sqrt{b^2 + c^2} \dots (3)$

$$b^2 = a^2 - c^2; b = \sqrt{a^2 - c^2} \dots (4)$$

$$c^2 = a^2 - b^2; c = \sqrt{a^2 - b^2} (5)$$

En el plano, la meridiana — hipotenusa — BF es simétrica y exacta con los conjuntos cartesianos X, Y al formar el triángulo rectángulo OBF.

También, la latitud geocéntrica  $\phi$  conserva la simetría y  $p(x, y)$  queda definido geoméricamente porque pertenece a la elipse. Aunque P ( $x^1, y^1$ ) está fuera de la elipse, también podemos encontrar sus coordenadas X Y, y es posible encontrar su latitud geográfica  $\phi'$  por cualquier método tradicional, pero siempre y cuando sean definidos los valores para el elipsoide de referencia.

### 2.2.2 Achatamiento (Córdoba Rendón, Griselda. 1977. Control primario para la obtención de cartas geográficas: 20)

El achatamiento o compresión polar es la diferencia (f) entre el semieje mayor y menor de una elipse. Su ecuación es  $f = \frac{a - b}{a}$

### 2.2.3 Excentricidad

Siguiendo la secuencia de arriba, la excentricidad queda definida por:  $e = \frac{c}{a}, \dots (6)$

Sustituyendo (3)  $e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$  y  $e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} \dots (7)$

Ejemplo 1.

Calcular el aplanamiento, la excentricidad y excentricidad cuadrada para el elipsoide de Clarke cuyo Semieje mayor  $a = 6\,378\,206.4$  m, Semieje menor  $b = 6\,356\,583.8$  m.

El aplanamiento  $f = a - b / a$ ;  $f = 6378206.4 \text{ m} - 6356583.8 \text{ m} / 6378206.4 \text{ m}$ ;  $f = 21622.6 \text{ m} / 6378206.4 \text{ m}$ ;  $f = 1 / 294.9786982 = 0.003390075$ ;<sup>1</sup>

$$e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a} = \frac{\sqrt{(6\,378\,206.4)^2 - (6\,356\,583.4)^2}}{6\,378\,206.4} = \frac{\sqrt{4.068151688^{13} - 4.040615761^{13}}}{6\,378\,206.8}$$

$$e = 0.82271855$$

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} = \frac{4.068\,151\,688^{13} - 4.040615761^{13}}{4.068\,151\,688^{13}} = 0.006768658$$

Estas fórmulas son fundamentales porque se utilizan como base para el desarrollo del cálculo de la normal mayor y menor, radio de curvatura, arco de meridiano y arco de paralelo.

### 2.3 El elipsoide de revolución achatado

Para definir el elipsoide de revolución se requieren tres dimensiones, ya que tres dimensiones es un modelo matemático de referencia a partir del cual se determinan las dimensiones geodésicas de la Tierra. Y su forma es parecida al de la Tierra. achatado en los polos y alargado en el ecuador que gira en torno a un eje de rotación; el semieje mayor coincide en lo posible con el diámetro del ecuador terrestre, su excentricidad o achatamiento es determinado por una razón geométrica 4. Fig. 3.2 El elipsoide de revolución - Fig. 3.2 - es un lugar geométrico definido por las intersecciones con los ejes  $X \pm a$  un semieje mayor (ecuador), eje  $Y \pm b$  semieje menor (meridiano de origen), eje  $Z \pm c$  y centro en  $\theta$ . Esta superficie es simétrica con respecto a todos los planos y al origen.

<sup>1</sup> En los dibujos el aplanamiento del elipsoide es exagerado, porque no es fácil representar un elipsoide con sus características reales y porque en la escala del dibujo perdería su forma elipsoidal y adquiriría la de una esfera. Por tal motivo en algunos tratados el elipsoide también es citado como esferoide. Si se le representa en el papel apenas se distinguiría con respecto a una esfera. Aun con un aplanamiento  $f = 1/50$  seguiría formando una elipse muy parecida al círculo. (Fig.3.2)



Teóricamente, el centro  $\theta$  puede coincidir con el centro de la tierra y ser el origen del sistema de coordenadas cartesianas  $(XYZ)$ .

El elipsoide queda definido por  $a > b$  y  $c < a$ ; donde se hace girar la elipse ... (1) en torno de su eje menor y  $z = 0$ .

En la figura 3.2 se representa el elipsoide de revolución en coordenadas  $X Y Z$ , los elementos fundamentales son el semieje menor  $b$  y el semieje mayor  $a$  y los planos principales el ecuador y el meridiano de Greenwich.

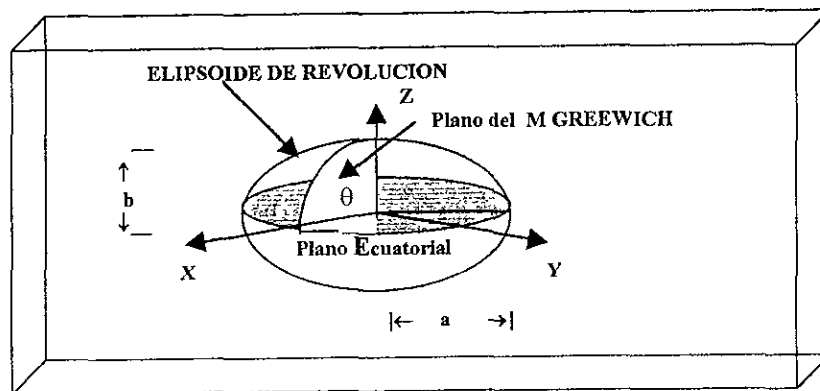


FIG.2.2

Los usos prácticos del elipsoide se dan en los trabajos levantamientos geodésicos al calcular un arco de meridianos, definir el semieje mayor, el menor y el tamaño de la Tierra, y en cartografía matemática se usa cuando se establece un marco geométrico para el dibujo cartográfico.

En Geodesia el elipsoide es un cuerpo geométrico que se aproxima a la forma del geoide. Ambos tienen una secuencia de cálculo propia y sirven para referenciar los cálculos de longitudes de arco.

En Cartografía, para hacer mapas a escala conocida, es necesario saber el tamaño de la tierra. La forma de la superficie terrestre influye en las transformaciones matemáticas para representarla en una superficie plana.

Las relaciones y funciones geométricas están definidas por el semieje mayor, semieje menor y la excentricidad (FIG 3.2)

### 2.3.1 Relaciones geométricas del elipsoide

1. Toda sección plana que pasa por el centro de un elipsoide es una elipse, exceptuando el plano ecuatorial.
2. La sección ecuatorial es un círculo de radio (a).
3. Los puntos sobre la superficie del elipsoide están a diferente distancia del centro.
4. La longitud de arco que corresponde a la distancia angular Z varía en diferentes partes del elipsoide.
6. En cada punto sobre la superficie del elipsoide hay dos radios de curvatura que varían continuamente de lugar.
7. Un Radio Meridional de Curvatura no pasa por el centro del elipsoide
8. Un Radio de la sección elíptica es perpendicular al meridiano.
9. La recta que es perpendicular, o normal a la tangente... [de cualquier punto sobre el elipsoide] no pasa por el centro del elipsoide (Maling, D.H. 1973. *Coordinate System and map projections*. 43 – 44)

El modelo – elipsoide- que se utilice para representar la forma de la tierra dependerá de las necesidades prácticas para las que vaya a utilizarse. El modelo está relacionado con la escala, la proyección del mapa y el tipo de información geográfica utilizada para su definición. Para quien esté interesado en entender las relaciones entre Cartografía y Geodesia, le resulta esencial conocer los principios geométricos del elipsoide y sus relaciones con el sistema de coordenadas que vaya a utilizar. Para nuestro caso sería con la proyección Universal Transversa de Mercator (UTM).

Llamamos la atención, en que el análisis geométrico y de cálculo utilizan las dimensiones y el volumen aproximado de la tierra. Esta situación contrasta con la escala de los dibujos con que se está ejemplificando. Si no conjugamos estos dos elementos para nuestro análisis es muy fácil que se pierda la perspectiva entre las magnitudes.

## 2.4 El Geoide

### 2.4.1 Su definición física

Clásicamente, el geoide ha sido definido como la forma que adopta el nivel medio del mar si se prolongara idealmente sobre la superficie terrestre. Esta superficie imaginaria está en todos los puntos perpendiculares a la vertical física o dirección de la fuerza de la gravedad (Sosa...1980 Op. Cit:11).

El geoide es la superficie con igual potencial de gravedad en cualquiera de sus puntos y donde la dirección de la gravedad siempre es perpendicular (Sosa ...1980. *Ibidem.*: 12).

El geoide es definido por leyes físicas, se dice que es una superficie equipotencial, porque en cada punto de ella el potencial gravitacional o la cantidad de trabajo necesario para superar la aceleración de la gravedad es constante (Liddle, Donn A. 1990 "Determinación de alturas ortométricas por medio de GPS"

*Cartográfica 58: 29*).

Imaginarmente, si hacemos observaciones gravimétricas en un número infinito de puntos, tomando como centro de partida y fin el observatorio de Greenwich —o cualquier otro punto—, y siguiendo en cualquier dirección las geodésicas de la superficie terrestre hasta cerrarlas, entonces obtenemos infinitos planos de nivelación, porque al girar las líneas de nivel, en cualquier dirección, estaremos formando una superficie nivelada continua. "Esta superficie nivelada se llama geoide y puede ser definida como una superficie equipotencial que corresponde al nivel medio del mar..."

(Hoar J. Gregory. 1982. *Topografía por satélite*: 21 – 22)

La altitud del geoide es la distancia que separa al geoide del elipsoide (Sosa... 1980, op.cit.: p.13). Se ha calculado que alcanza diferencias de  $\pm 100$  metros.

Hay lugares donde se interceptan el elipsoide y el geoide, pero se forma un ángulo —desviación a la vertical— entre la perpendicular al elipse y la línea de la plomada (vertical física). Fig. 2.3

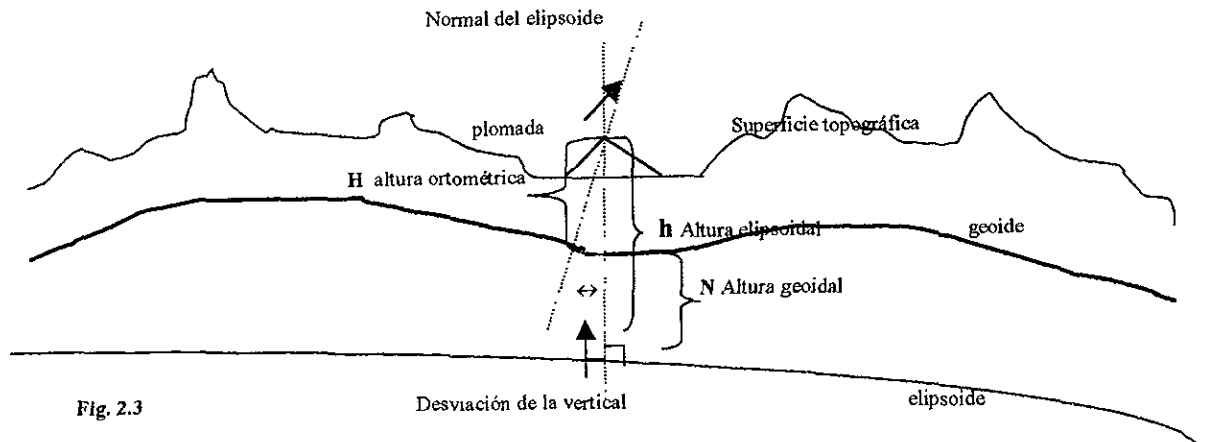


Fig. 2.3

- Altura geoidal ( $N$ ) es la distancia entre la superficie del geoide y la del elipsoide.
- Altura elipsoidal ( $h$ ) es la distancia entre la superficie del elipsoide y de la Tierra.
- Altura ortométrica ( $H$ ) es la distancia entre la superficie del geoide y la Tierra, medida a lo largo de la plomada.

#### 2.4.2 Observaciones gravimétricas

Las observaciones gravimétricas se refieren a la determinación de la aceleración de la gravedad sobre la superficie de la tierra, lo cual proporciona un método para determinar la forma terrestre (geoide).

Hay dos métodos para medir la gravedad (Caire... 1998. *Ibidem.*: 11):

1. Método dinámico, que por medio de la observación de un cuerpo en caída libre o por el movimiento pendular se puede investigar la aceleración de la gravedad.
2. Método estático: para determinar la fuerza de la gravedad por medio de la presión ejercida sobre una masa en reposo, o por el efecto de esa masa sobre un resorte sobre el cual se suspende.

El valor teórico de la gravedad representa la fuerza combinada de la atracción de la Tierra debida a la gravedad y de la fuerza centrífuga producto de la rotación de la Tierra (potencial centrífugo)

La aceleración absoluta de la gravedad se mide con un instrumento pendular. El periodo de oscilación del péndulo se mide con precisión y con él se calcula el valor de la aceleración de la gravedad... por ser un método complejo únicamente se utiliza en Estaciones Base de Gravedad.

Los aparatos de medición gravimétrica que usan como referencia las Estaciones Base de Gravedad se llaman gravímetros, los cuales proporcionan mediciones *relativas*.

Por otro lado, para medir la diferencia en altura entre dos puntos, se utilizan instrumentos telescópicos que son nivelados por una burbuja, en cada lado se colocan estadales verticales y entre ellos el instrumento.

Las diferencias de alturas entre puntos también pueden tomarse con otros instrumentos como; el barómetro y altímetro, o por diferencia *termo - barométrica*.

Todos los trabajos de obra civil; casas, edificios, colonias, ciudades, carreteras, puentes toman al geoide como referencia para nivelar.

### **2.4.3 Mareas terrestres**

El geoide no coincide exactamente con la superficie real de mar. La gravedad tiene variaciones *espaciales y temporales*. Y por tanto la superficie terrestre como el mar están influenciados por factores físico - geográficos dinámicos como las fuerzas gravitatorias del sistema Tierra - Luna, la deriva continental, la tectónica de placas, la estructura y densidad geológica, las corrientes y mareas marinas y el movimiento de la atmósfera (Caire... 1998 op.cit:12 - 13).

La Tierra está en continuo movimiento, su densidad no es uniforme, la geomorfología de los continentes es *irregular* (con grandes zócalos montañosos y extensas llanuras), el mar y la atmósfera están en continuo movimiento, todos estos factores geográficos influyen para que el geoide no sea una superficie regular. Entonces, por la dinámica geográfica física del planeta, el geoide es una

superficie ondulatoria tridimensional, muy parecida a la forma que tiene la superficie del mar, con crestas donde están localizados los grandes sistemas montañosos, con valles donde se distribuyen las planicies, y que es relativamente homogéneo en el mar. No tiene regularidad geométrica euclidiana, sino ondulatoria (ecuaciones armónicas esféricas).

#### 2.4.4 Ecuaciones para determinar la anomalía de la gravedad

Anomalía  $Ag = g_o - g_t$

En una estación base con latitud  $\phi$  y altitud  $h$  conocida se calcula la gravedad teórica con el valor de la gravedad observado reducido al nivel del elipsoide en una serie de calculo con las correcciones siguientes (Caire... 1998. *Ibidem*: 13):

$$g_t = g_o (1 - A \sin^2 2\phi - B \sin^2 \phi) + CH + CT + Ci + C\sigma \text{ CM/SEG}^2$$

$$A = 0.0052884 \quad \text{y} \quad B = 0.000059$$

$CH$  es la corrección por aire libre donde se considera la disminución de la gravedad por la altura  $H$  de la estación. Esta corrección será negativa

$CT$  es la corrección por topografía y se toma en cuenta la masa geológica que circunda la estación, tanto en la parte marina como en la terrestre

$Ci$  es la corrección por isostacia que tiene en cuenta los efectos geomorfológicos de la masa terrestre. Al calcular esta corrección se tienen en cuenta las mismas consideraciones que la  $CT$  más un argumento  $\sigma$  de densidad.

$\sigma$  es la densidad normal, considerada como una columna vertical de corteza que va desde la superficie de compensación isostática y termina en el nivel del mar.

$$\sigma = \frac{0.615 \sigma H^2}{H - H'} \quad \text{en México la compensación promedio es de 114 km de profundidad media}$$

oceánica. Esta corrección es positiva cuando corresponde a los océanos y negativa cuando se hace en los continentes.

## 2.5 Datum

Se define como aquella cantidad numérica, geométrica o como un grupo de esas cantidades, que sirven como referencia o base para calcular otras cantidades. “Al Datum horizontal se refieren los cálculos sobre los levantamientos de control horizontal, en los que se considera la curvatura de la Tierra. Al Datum vertical se refieren las elevaciones” (Sosa... 1980. Op.cit: 19).

### 2.5.1 Metodología clásica para establecer un datum

Se elige un punto de control de origen.

Se define la altura del punto sobre el elipsoide.

La nivelación es relativa al nivel medio del mar (geoide), se emplea una altura nivelada con el tripié.

Se determina la latitud y la longitud astronómica observada en el punto.

La desviación de la vertical es cero y el elipsoide por debajo del punto será paralelo al plano horizontal – tangencial – en el mismo punto.

Se fija la orientación del semieje menor (se utiliza el acimut astronómico o la longitud geodésica, pero no los dos).

### 2.5.2 Datum horizontal

Es la base de los cálculos para el control horizontal de levantamientos en los que se tomó en consideración la curvatura de la tierra. Consta de un punto de partida y de un elipsoide de referencia. Los cálculos se realizan con cinco elementos de partida: latitud, longitud del punto de origen; acimut de una línea de punto de partida y otra estación de referencia, radio ecuatorial y achatamiento de la tierra (elipsoide). Inicialmente hasta 1998, el datum de referencia de nuestro sistema geodésico era el NAD 27 (NORTH AMERICAN DATUM OF 1927), referido al elipsoide de Clarke de 1866. Toda la cartografía, los levantamientos geodésicos, y la densificación de redes en el país estaba referida a este datum. El NAD 27 tiene todas las características de un sistema geodésico de referencia local.

### 2.5.3 Datum Norteamericano de 1927

- Punto de origen MEADES RANCH KANSAS
- Tiene una posición en latitud, longitud y altura geoidal.
- Inclinación de la vertical referida al geoide y elipsoide asociado (s, n)
- Forma y tamaños del elipsoide; semieje mayor y menor (a, b) tomando el elipsoide de CLARK de 1866.
- Al estar definido localmente, el centro de masa de la tierra no coincide con el centro geométrico del elipsoide y la orientación del sistema está referido al acimut de MEADES RANCH A WALDO, la precisión del NAD 27 es de 1: 25000. Para 1998 se legisló para actualizar las normas técnicas para hacer levantamientos geodésicos con el elipsoide del Sistema Geodésico de Referencia de 1980, modificado para el ITRF92 (*International Terrestrial Reference Frame*) época 1988.<sup>2</sup>

### 2.5.4 Datum vertical (Sosa... 1980 op.cit: 38)

El datum vertical es base para la obtención de la altura de los puntos nivelados o bancos de nivel, donde por métodos gravimétricos se calcula la altura tomando como referencia el nivel medio del mar. La red básica de control vertical se establece por medio de nivelaciones geodésicas... se determina obteniendo el promedio de las alturas del agua durante un año o más, medidas en una estación mareográfica.

### 2.5.5 El control geodésico horizontal y vertical

Este control inicia en un punto o puntos de posición conocidos en sus tres dimensiones, desde los cuales se miden distancias y ángulos hacia los nuevos puntos, cuyas posiciones se determinan luego por medio de cálculos y valores levantados. Los principales métodos de propagación geodésica son:

- ✓ Poligonación: se miden ángulos y distancias a partir de un punto de coordenadas conocidas.

<sup>2</sup> El ITRF-92 (INTERNATIONAL TERRESTRIAL REFERENCE FRAME) Red de referencia terrestre internacional. Es el Sistema Geodésico de Referencia al cual se liga la nueva red geodésica nacional activa, y todos los trabajos de geodesia (Normas Técnicas de 1998).



- ✓ Triangulación: partiendo de una línea base se miden los ángulos de los triángulos. Si conocemos la longitud de la línea base o cualquier lado del triángulo, se pueden calcular los otros lados
- ✓ Trilateración: es un método para disminuir los errores en triangulaciones interconectadas que forman cadenas, de las cuales se miden todas y cada una de las longitudes, así como algunos ángulos de cada lado, con lo cual se pueden determinar las coordenadas de los vértices de los triángulos.
- ✓ “ Intersección: desde una base orientada o lado determinado por triangulación o poligonación se observan dos vértices angularmente; con ellos se tendrá tres elementos del triángulo que se forma y por tanto se podrán calcular los demás elementos del triángulo al tener los valores de las coordenadas de los vértices, se estará en condiciones de determinar las del tercero” (Caire Vega, Luis Gabriel. 1981. Obtención del Control Terrestre para la elaboración de cartas geográficas: 122).
- ✓ Resección o el problema de los tres vértices: conocidas las coordenadas XYZ de tres vértices “... éstos se abanderan... y desde cualquier otro punto donde sean visibles los tres vértices se hacen las observaciones angulares de  $\alpha$  y  $\beta$  con los cuales se pueden determinar las coordenadas del punto de observación. Además la cota requiere la observación de las distancias cenitales” (Caire Vega... 1981 Ibidem: 125).

Estación LAPLACE: son puntos de triangulación en una red geodésica en los que se ha calculado el acimut y la longitud geodésica en función del acimut astronómico por medio de observaciones astronómicas. El azimut LAPLACE o acimut geodésico verdadero es un cálculo a partir del acimut astronómico. Por el primer componente de la desviación  $\xi$  queda definido en el meridiano del lugar con la dirección este - oeste y la desviación de este componente con la normal geodésica Fig. 2.4. Las desviaciones a la primera vertical  $\eta$  pueden ser deducidas por la diferencia entre la longitud astronómica y geodésica, es decir se trata de una desviación en sentido norte - sur. Las estaciones LAPLACE son las encargadas del control del acimut geodésico de un sistema de triangulación, o

también pueden ser la base del control primario para definir la escala de una proyección (BONFORD, G. 1971 *GEODESY*: 115).

En estas estaciones las observaciones astronómicas se hacen con un teodolito de primer orden que cuente con un sistema de nivelación. Las observaciones astronómicas sólo proporcionan relaciones angulares, y en consecuencia proveen información con respecto a la forma de la tierra, pero no con respecto a su medición.

La dimensión se determina mediante cualquier método de levantamiento horizontal.

### 2.5.6 Ecuación de LAPLACE

Para entender la ecuación de LAPLACE se utilizarán las figuras 2.4 y 2.5. (BONFORD... 1971 *Ibidem*:114-115)

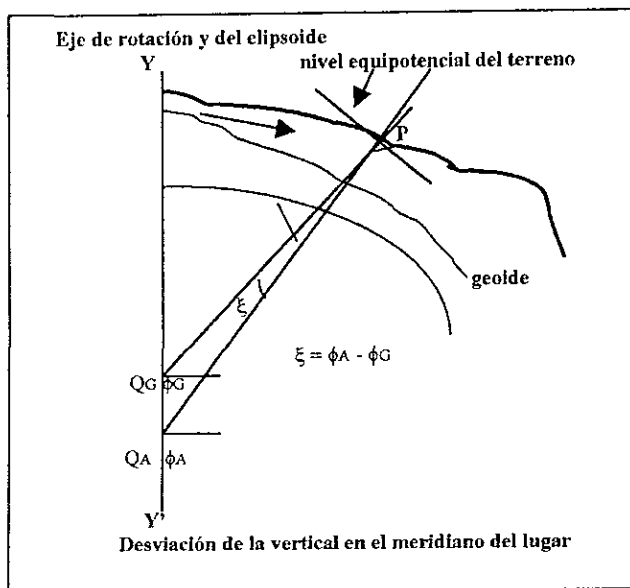


Fig. 2.4 Fuente op.cit. BONFORD 1971

Desviación en el meridiano:

La latitud astronómica de p (Fig. 3.5) es:  $\phi_A = 90^\circ - YZA$

La latitud geodésica  $\phi_G = 90^\circ - YZG$

ZG X perpendicular a YZA y de aquí los valores de la desviación en el meridiano de la vertical y la normal al elipsoide es  $\xi = \phi_A - \phi_G$ , esta ecuación también aparece en la Fig. 2.4.



Por último, en el control vertical la nivelación se determina desde bancos de nivel y a partir ahí se nivela mediante distancias inclinadas y ángulos verticales – método trigonométrico -.

Los datos de los principales datum se exponen en la tabla siguiente:

Nombre del esferoide	Fecha de cálculo	Eje mayor en metros (a)	Eje menor en metros (b)	Achatamiento (e)
Everest	1830	6 377 276 m	6 356 075 m	1 / 300.8007169 m
Bessel	1841	6 377 397 m	6 356 079 m	1 / 299.1555024 m
Clarke	1866	6 378 206 m	6 356 584 m	1 / 293.9868652 m
Internacional	1924	6 3783 88 m	6 356 912 m	1 / 297.0007450 m
Krasovsky	1940	6 378 245 m	6 356 863 m	1 / 298.2997381 m
UAI	1965	6 378 160 m	6 356 775 m	1 / 298.2539163 m

Tabla 2-1 Fuente: WORLD CARTOGRAPHY 1970

### 2.5.7 NAD 83

Este fue el último datum horizontal que se obtuvo con el esfuerzo conjunto de los países de Norteamérica. En 1974 los cálculos del nuevo datum se hicieron con un ajuste por mínimos cuadrados de 1 785 772 observaciones, de un total de 226 436 estaciones. Aunque no se incluyeron como incógnitas las alturas geodésicas de esos puntos, por tal razón aparecen como un datum horizontal. Y aunque el NAD 83 está basado en el Sistema de Referencia Geodésico de 1980 (GRS 1980), no dejó de tener las características de un datum de referencia local. Este esfuerzo de cálculo quedó rápidamente obsoleto porque en 1984 el departamento de Defensa de E.U afinó los detalles para crear el Sistema Geodésico Mundial (WGS84), cuyas características expondremos más abajo.

### 2.6 Posición astronómica de un lugar

Como se ha venido exponiendo, antes de la utilización de las computadoras y de los satélites para dar posición geodésica a un vértice o una zona geográfica, en Topografía, Geodesia y Geografía se utilizaban los métodos llamados “tradicionales” — como los que se exponen en las siguientes paginas— para propagar coordenadas y dar posición geográfica.

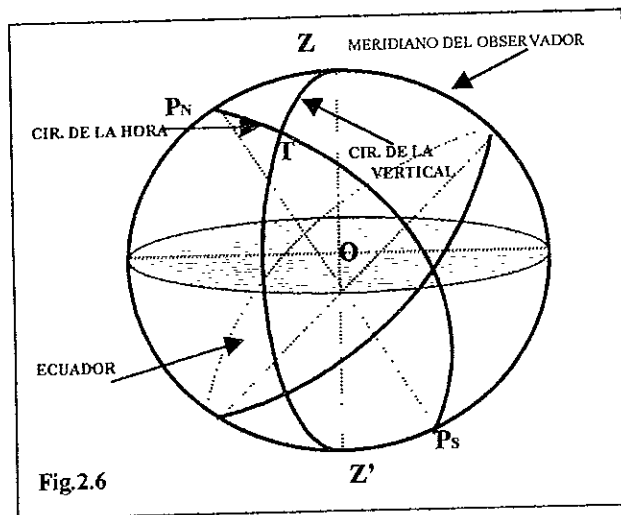
El objetivo de esta parte del trabajo es exponer en forma resumida los métodos tradicionales que nos ayudan a dar orientación astronómica a un punto o línea.

En tratados de astronomía de posición, topografía o en el anuario astronómico se explica cómo se puede calcular la latitud, longitud, acimut de un lugar a partir de la orientación astronómica.

Para los trabajos prácticos de astronomía de posición se utilizan dos sistemas de coordenadas, los sistemas de coordenadas horizontales y los de coordenadas ecuatoriales.

### 2.6.1 Sistema de coordenadas horizontales

En el sistema de coordenadas horizontales Fig. 3.6 el origen se define donde se cruzan los ejes del horizonte del observador y el eje de la vertical del astro celeste, para los cálculos se toma en cuenta la altura y el acimut.



Altura: es el ángulo vertical que forma la visual a una estrella con el plano del horizonte; este ángulo se mide de  $0$  a  $90^\circ$  y su complemento se le denomina ángulo cenital OTZ. En la fig.2.6 este ángulo se mide de  $0$  a  $180^\circ$  con origen en el cenit (Caire, Vega G... 1982 Op. Cit.: 22).

Acimut: es el ángulo medido sobre el plano del horizonte del lugar, tomando como origen el polo norte (PN) se mide de 0 a 360° en sentido retrógrado hacia el este con la visual de una estrella.

### 2.6.2 Sistema de coordenadas ecuatoriales locales

En las coordenadas ecuatoriales locales el origen está en el meridiano del observador y el ecuador celeste; para este sistema se toma en cuenta el ángulo horario, la declinación y el tiempo.

Declinación: es el ángulo de elevación de una visual a una estrella, sobre el plano del ecuador, de 0° a 90° hacia el norte o hacia el sur.

Ascensión recta: es el ángulo medido sobre el plano del ecuador, a partir del punto vernal (equinoccio de primavera) hasta el círculo horario de la estrella, se mide hacia el este de 0 a 24 horas o de 0° a 360°.

Angulo horario de una estrella: es el ángulo medido sobre el plano del ecuador  $\angle ZPNT$ , a partir del meridiano del observador (Fig.2.6) hasta el círculo horario de la estrella. Se mide hacia el este de 0 a 24 horas o de 0° a 360° grados a partir del momento en que la estrella culmina en la rama superior del meridiano del lugar. Cuando una estrella pasa por el meridiano del lugar, se dice que es el momento de la culminación y origen del ángulo horario de la estrella, para un lugar determinado de la tierra. En este momento coincidirán ambos planos, el del meridiano del lugar y el círculo horario de la estrella. Después, como la estrella sigue caminando hacia el oeste, se va abriendo el ángulo diedro que forman dichos planos, y éste es el ángulo horario de la estrella.

El ángulo horario es el que fija la posición de una estrella con respecto a un lugar de la tierra, varía constantemente en función del tiempo y no es un dato general para fijar una estrella en el firmamento, sino un dato particular para fijarla con respecto a un lugar determinado de la tierra donde necesitamos obtener su posición en un momento dado. Cada concepto es utilizado para hacer los cálculos. Como están asociados a la función del tiempo se tiene que tomar en cuenta la

corrección del tiempo de reloj donde se calcula el ángulo horario; también se debe considerar la ecuación de la diferencia de la longitud del lugar y de la meridiana central (Montes de Oca, Miguel 1981 *Topografía: 228-229*).

### 2.6.3. Conceptos clásicos de tiempo

En función del tiempo tenemos los siguientes conceptos.

Hora sideral: es el ángulo recorrido o el tiempo transcurrido, desde la culminación superior del punto vernal en el meridiano del lugar; se mide hacia el oeste de 0 a 24 horas o de 0° a 360°. La hora sideral de un lugar es el ángulo horario del punto, y se obtiene sumando con ella el ángulo horario de una estrella cuya ascensión recta se conozca.

$$\text{Hora sideral del lugar} = \text{Angulo horario} + \text{Ascensión recta}$$

Hora verdadera, local o civil: Es el tiempo transcurrido o ángulo recorrido por el sol desde su culminación inferior en el meridiano del lugar. Se mide de 0 a 24 horas; esta hora depende de la posición geográfica del lugar donde se realiza el cálculo, de tal manera que cada lugar tiene su hora civil.

Hora media o legal: es el tiempo transcurrido desde la culminación inferior del sol medio en el meridiano del lugar; con esta hora todos los días del año tienen la misma duración y es la que marcan nuestros relojes.

Ecuación del tiempo  $E = M - V$

$E$  = diferencia entre hora verdadera y media.

$M$  = hora media.

$V$  = hora verdadera.

El estado del reloj a la hora de hacer el levantamiento es la diferencia entre la hora local y la hora del reloj.

Se puede determinar escuchando por radio la hora exacta o midiendo el ángulo del sol.

En México, la hora local es igual a la hora del meridiano de 90 grados y más o menos la longitud del lugar. Para lugares al este del meridiano de 90° (Península de Yucatán) se suma, y lugares a oeste del meridiano de 90° (mayor parte del territorio de la República mexicana) se resta.

La determinación del ángulo horario de una estrella se realiza al momento de hacer una observación con ella y se hace con el fin de calcular la latitud o el acimut con respecto a la estrella.

Para planear la hora de observación se necesita calcular el ángulo horario y determinar la hora en que pasa la estrella por el meridiano del lugar; por medio de una fórmula se determina la longitud del lugar.

Hora del lugar (PL) = Hora del meridiano de 90° ± la longitud del lugar

$$AH = T - (P90 \pm \lambda)$$

Todos los cálculos se realizan en horas medias y minutos solares.

Ejemplo 2 (Padilla Higuera, José Alberto. 1984 *Serie de 50 ejercicios resueltos para la asignatura de astronomía de posición:*

9 10, 11) :

1. Calcular la distancia cenital corregida por factor barométrico, termométrico, refracción y paralaje
2. Calcular la reducción de la declinación
3. Calcular el ángulo horario
4. Calcular la corrección del reloj

Lugar	Facultad de Ingeniería UNAM
Fecha	7 de julio de 1979
Tránsito	WILD T-2
Cronómetro	Media Omega

Tabla 2.2



Datos:

Latitud	$\varphi$ 19° 19' 50"
Longitud	$\lambda$ 6h 36m 44.2s W
Tiempo medio del meridiano 90° WG	9h 27m 59.5s
Promedio de alturas del sol	44° 43' 37".2
Temperatura	17°.6 c
Presión Atmosférica	$p' = 592$ mm hg

Tabla 2.3

1. Cálculo de la distancia cenital corregida		
Distancia cenital sin corregir	$Z' = 90^\circ - a'$	45° 16' 22".8
Refracción media	$r = 60'' \cdot 6 \tan Z$	00° 01' 01".2
Factor Barométrico	$B = 1 / 1 + 0.004 t$	0.934230194
Corrección por Refracción atmosférica	$R = r \times B \times T$	00° 00' 44".4
Corrección por Paralaje	$P = 8'' \cdot 8 \sin Z'$	00° 00' 06".2
Distancia cenital corregida	$Z = Z' + R - P$	45° 17' 00".9

Tabla 2.4

2. Cálculo de la reducción de la declinación		
Hora promedio de Observación	TMM 90° WG	9h 27m 59s.5
Hora del paso del sol M90°WG	Anuario efemérides del sol	12h 04m 47s 8
Intervalo	Hora promedio - Hora de paso	-2h 36m 48s 3
Variación horaria en declinación	Anuario efemérides del sol	00° 00' 14".98
Corrección	Intervalo x Variación horaria	00° 00' 39".15
Declinación a la hora del paso por el M90° WG	Anuario de efemérides del sol	+22° 35' 52".9
Declinación al observar	Declinación M90°WG + Corrección	22° 36' 32".05

Tabla 2.5

Cálculo del Angulo horario	
	<p>AH es el ángulo desconocido</p> $\cos z = (\cos 90^\circ - \varphi) (\cos 90^\circ - \delta) + (\sin 90^\circ - \varphi) (\sin 90^\circ - \delta) (\cos AH)$ $\cos AH = \frac{\cos z - \sin \varphi \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta} \dots (1)$

Fig. 2.7

Z = 45° 17' 00" .9	Cos z = 0.703598336	
φ = 19° 19' 50" N	sen φ = 0.330811795	cos φ = 0.94369675
δ = 22° 36' 32" .05	sen δ = 0.384438769	cos δ = 0.923150493
De ... (1)	cos de AH = 0.661620145	
Angulo horario en grados de arco	AH = 48° 34' 35" .2	
Angulo horario en tiempo	AH = 3h 14m 18s.3	

Tabla 2.6

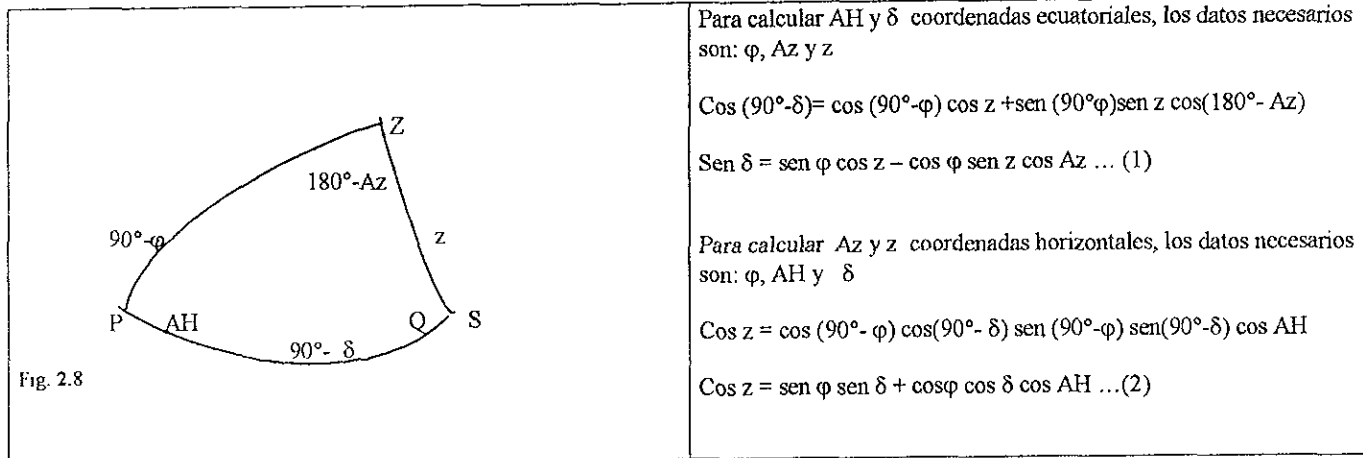
4. Cálculo de la corrección del reloj (ΔT)		
Ecuación del tiempo E	Anuario efemérides del sol	00h 04m 47s.83
Tiempo medio local (astronómico)	TML = 12h + E - AH	08h 50m 29s. 5
Diferencia de la longitud con M 90° WG	Δλ = λ estación - λ 90° WG	00h 36m 44s.2
Tiempo Medio Meridiano 90° al WG (astronómico)	TMM90°WG = TML + Δλ	09h 27m 13s.7
Tiempo Medio Meridiano 90° al WG	Cronométrico	09h 27m 59s.5
Corrección del reloj	CM = TMM90°WG(AS) - TMM90°WG (CRON)	-00h 00m 45s.8

Tabla 2.7

### 2.6.4 Transformación de coordenadas horizontales en ecuatoriales y viceversa (Caire Lomeli, Jorge.

1998 "Transformación de coordenadas celestes": 1)

Del sistema de coordenadas horizontales se tiene  $Az = 0^\circ$  a  $360^\circ W$  y  $z = 0^\circ$  a  $90^\circ$  horizonte



Para calcular AH y  $\delta$  coordenadas ecuatoriales, los datos necesarios son:  $\varphi$ , Az y z

$$\cos(90^\circ - \delta) = \cos(90^\circ - \varphi) \cos z + \sin(90^\circ - \varphi) \sin z \cos(180^\circ - Az)$$

$$\sin \delta = \sin \varphi \cos z - \cos \varphi \sin z \cos Az \dots (1)$$

Para calcular Az y z coordenadas horizontales, los datos necesarios son:  $\varphi$ , AH y  $\delta$

$$\cos z = \cos(90^\circ - \varphi) \cos(90^\circ - \delta) \sin(90^\circ - \varphi) \sin(90^\circ - \delta) \cos AH$$

$$\cos z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos AH \dots (2)$$

Del sistema de coordenadas ecuatoriales se tiene  $AH=0^\circ$  a  $360^\circ W$  y  $\delta=0^\circ$  a  $\pm 90^\circ$  norte o sur

Por otro lado del triángulo astronómico de la figura 2.8 se tiene el ejemplo siguiente:

Ejemplo No.3.

Calcular las coordenadas horizontales a ecuatoriales y viceversa

#### HORIZONTALES A ECUATORIALES

DATOS	
LATITUD	$\varphi = 19^\circ 28' 05''.42418$
ALTURA CENTAL	$z = 46^\circ 04' 04''.5$
AZIMUT	$Az = 01^\circ 42' 27''.2$

Tabla 2.8

#### CALCULO DECLINACION

De ... (1) $\sin \delta = \sin \varphi \cos z - \cos \varphi \sin z \cos Az$	
$\sin \varphi = 0.33328319$	$\cos \varphi = 0.942826769$
$\sin z = 0.720162722$	$\cos z = 0.693805199$
$\cos Az = 0.999555939$	
$\sin \varphi \cos z = 0.23123361$	
$\cos \varphi \sin z \cos Az = 0.678687173$	
$\sin \delta = -0.447453563$	
$\delta = 26^\circ 34' 49''.5$	

Tabla 2.9

#### CALCULO ANGULO HORARIO

De (2) $\sin AH = \sin Az \sin z \sec \delta$	
$\sin Az = 0.029798055$	
$\sin z = 0.720162722$	
$\sec \delta = 1.118183965$	
$\sin AH = 0.023995278$	
$AH = 1^\circ 22' 29''.86$	

Tabla 2.10

ECUATORIALES A HORIZONTALES
-----------------------------

CALCULO DISTANCIA CENTRAL	
De ... (2) $\text{Cos } z = \text{sen } \varphi \text{ sen } \delta + \text{cos } \varphi \text{ cos } \delta \text{ cos } AH$	
$\text{Sen } \varphi = 0.33328319$	$\text{Cos } \varphi = 0.942826768$
$\text{Sen } \delta = 0.4474563445$	$\text{Cos } \delta = 0.894307226$
$\text{Cos } AH = 0.9997112071$	
$\text{Sen } \varphi \text{ sen } \delta = 0.149129678$	
$\text{Cos } \varphi \text{ cos } \delta \text{ cos } AH = 0.842933288$	
$\text{Cos } z = 0.693805199$	
$Z = 46^{\circ} 04' 04.5''$	

Tabla 2.11

CALCULO AZIMUT	
DE... (1) $\text{sen } Az = \text{sen } AH \text{ cos } \delta \text{ csc } z$	
$\text{Sen } AH = 0.023995295$	
$\text{Cos } \delta = 0.894307226$	
$\text{Csc } z = 1.388575068$	
$\text{Sen } Az = 0.029797662$	
$Az = 1^{\circ} 42' 27''.12$	

Tabla 2.12

### 2.6.5 Determinación de la latitud

Latitud geográfica es el ángulo que se forma entre la normal<sup>3</sup> del punto y el plano del ecuador.

Para conocer la latitud de un lugar preciso si no viene en las tablas del anuario se puede determinar por cálculos astronómicos. También puede obtenerse por medio de cartas geográficas, las cuales deben tener una buena aproximación.

La latitud de cualquier punto es la altura del polo sobre el horizonte, observando la polar en el momento de su paso (inferior o sur) por el meridiano del lugar.

Hay varios métodos de observación astronómica. Midiendo la altura de la polar o el sol en el

<sup>3</sup> La normal es perpendicular al meridiano geodésico o elipsoide geocéntrico.

momento de su paso superior por el meridiano del lugar, midiendo la altura de la polar o el sol en cualquier momento.

### 2.6.5.1 Procedimiento de observación

Con datos del lugar y del anuario se calcula la hora del paso de la estrella por el meridiano del lugar. La finalidad este cálculo es salir a instalar el aparato con anticipación (Montes de oca Op.cit:275 – 276) .

A la hora calculada se localiza la estrella a ojo según la posición de las constelaciones.

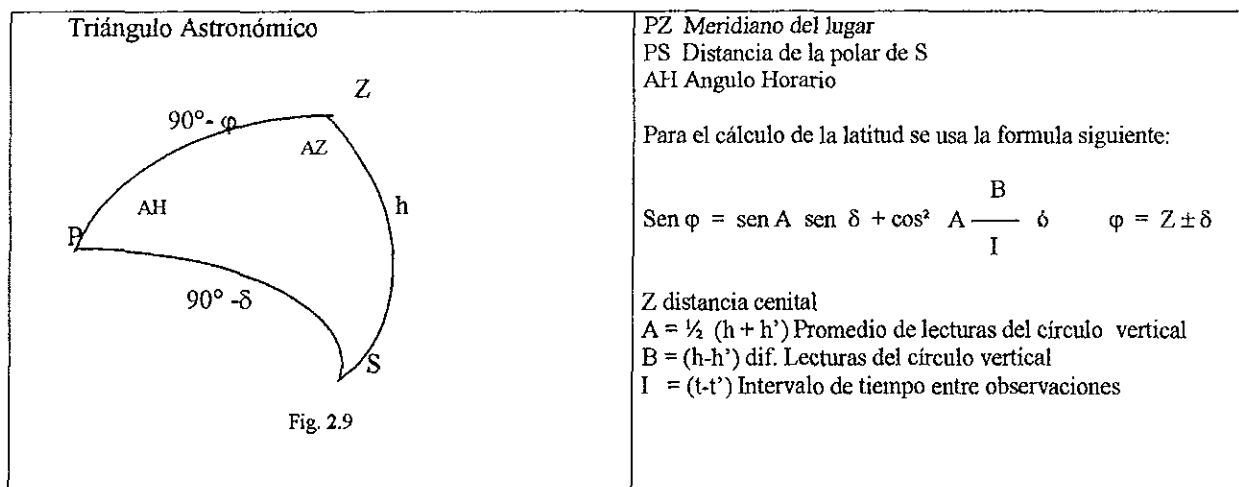
Se revisa cuidadosamente que el aparato esté bien nivelado, y se localiza la estrella con el antejo.

Se iluminan los hilos de la retícula, y se bisecta la estrella con el hilo horizontal, siguiéndola con el tornillo tangencial.

Cuando no hay movimientos durante tres o cuatro minutos y la estrella camina por el horizontal, ésta estará en culminación, y entonces se lee el círculo vertical.

Se invierte el antejo a posición inversa y se toma la lectura para obtener un promedio de las alturas medidas. Se hace la corrección por refracción, y esa será la altura verdadera (a).

### 2.6.5.2 Procedimiento de calculo de la latitud



## Ejemplo 4 (ANUARIO Astronómico. 1981: 147 -148)

Calcular la latitud para las observaciones hechas en San Pedro Mártir, B.C. Norte, el día 27 de agosto de 1976.

DATOS	
Aparato	Wild T-2
Temperatura	18,0°
Presión	724 mm.

Tabla 2.13

SERIE 1 OBS.										
No. lec.	p.v	HORA			C.H			C.V.		
		h	m	s	°	'	''	°	'	''
1	I	8	41	02.0	275	00	59.9	300	29	01.1
2	I	8	42	17.0	275	11	46.3	300	39	05.5
3	I	8	43	29.0	275	22	20.3	301	00	52.8
4	D	8	44	52.0	94	59	09.9	59	11	24.3
5	D	8	45	45.0	95	05	53.6	59	01	26.2
6	D	8	46	26.0	95	12	00.0	58	52	34.2

Tabla 2.14

SERIE 2 OBS.										
No. lec	p.v	HORA			C.H			C.V		
		h	m	s	°	'	''	°	'	''
1	I	9	00	21.4	277	54	18.3	304	35	37.8
2	I	9	01	07.3	278	01	24.3	304	45	27.2
3	I	9	01	07.3	278	08	01.8	304	54	35.8
4	D	9	04	03.0	97	50	36.0	55	09	13.2
5	D	9	04	54.0	97	58	56.2	54	58	18.5
6	D	9	05	38.0	98	05	46.2	54	49	15.0

Tabla 2.15

PROMEDIO	HORA			C.H			C.V		
	h	m	s	°	'	''	°	'	''
SERIE 1	8	43	58.5	275	08	41.0	59	12	24.0 (a <sup>1</sup> )
SERIE 2	9	02	58.17	277	59	50.0	56	52	04.0 (a <sup>2</sup> )

1 CALCULO DE LA DISTANCIA CENTAL CORREGIDA SERIE 1		
DISTANCIA CENTAL SIN CORREGIR	$Z' = 90^\circ - a^1$	30° 47' 36".0
REFRACCON	$r = 60'' \cdot 6 \tan Z'$	0.518354444
FACTOR BAROMETRICO	$B = p/762$	0.95131234
FATOR TERMOMETRICO	$T = 1/1 + 0.004 T$	0.932835821
CORRECCION POR FACTOR ATMOSFERICO	$R = r \times B \times T$	0.468525844
CORRECCION POR PARALAJE	$P = 8'' \cdot 8 \sin Z'$	0.075272593
DISTANCIA CENTAL CORREGIDA	$Z = Z' + R - P$	31° 11' 11".7 Tabla 3.16

2. CALCULO DE LA DISTANCIA CENTAL CORREGIDA SERIE 2		
DISTANCIA CENTAL SIN CORREGIR	$Z^2 = 90^\circ - a^2$	33° 07' 56".0
REFRACCION	$r = 60'' \cdot 6 \tan Z^2$	0.557725741
FACTOR BAROMETRICO	$B = p/762$	0.950131234
FACTOR TERMOMETRICO	$T = 1/1 + 0.004 T$	0.932835821
CORRECCION POR REFRACCION ATMOSFERICA	$R = r \times B \times T$	0.459997182
CORRECCION POR PARALAJE	$P = 8'' \cdot 8 \sin Z^2$	0.080989877
DISTANCIA CENTAL CORREGIDA	$Z^2 = Z^2 + R - P$	33° 30' 40".4 Tabla 3.17

CALCULO DE LA REDUCCION DE LA DECLINACION		
Hora promedio de observación	TMM90°WG + 7 h (MW105°)	15h 53m 28s.33
Hora del paso del sol M90°WG	Anuario "efemérides del sol"	12h 01m 22s.25
Intervalo	Hora promedio - Hora de paso	03h 52m 06s.08
Variación horaria en la declinación	Anuario "efemérides del sol"	- 0° 00' 52".6
Corrección	Intervalo x Variación horaria	+ 0° 03' 23".48
Declinación a la hora del paso por M90WG	Anuario "efemérides del sol"	09° 54' 46".70
Declinación al observar	Declinación M90°WG + corrección	09° 58' 11".18 Tabla 3.18

#### CALCULO DE LA LATITUD $\phi$

DATOS		
Declinación	$\delta =$ al observar	09° 58' 11".18
Promedio de altura cenital	$A = Z + Z'/2$	32° 20' 56".00
Diferencia de lecturas del círculo horizontal	$B = S^1 - S^2$	02° 51' 09".00
Intervalo de tiempo entre las observaciones	$I = 00^\circ 18' 59''.67$ en grados de arco	04° 44' 55".05 Tabla 3.19

Fórmula de la latitud $\text{sen } \phi = \text{sen } A \text{ sen } \delta + \cos^2 A B/I$	
Sen A	0.535073598
Sen $\delta$	0.173128594
Sen A sen $\delta \dots a$	0.09263654
$\cos^2 A$	0.713696464
B/I	0.600700203
$\cos^2 A B/I \dots b$	0.42871763
Sen $\phi = a+b$	0.52135417
$\phi = \text{inv. sen}$	31° 25' 23.2" Tabla 3.20

Por medio del anuario obtenemos la hora de culminación para la fecha de observación.

No es necesario hacer la observación en el momento preciso calculado, sino durante varios minutos antes y después de cruzar el meridiano, que es cuando alcanza su altura máxima o mínima, respectivamente; la estrella camina en trayectoria casi horizontal (Montes de Oca...1981 Op.cit: 245) .

## 2.7 Cálculo del acimut

Método para determinar el acimut astronómico de una línea de control.

Hay varios métodos para determinar el acimut de una línea. Según las necesidades del levantamiento se seleccionará el que proporcione mayor precisión. Entre ellos están los siguientes: la observación del sol, la polar o una estrella cualquiera. La del sol es la más sencilla, pero es la que da menor aproximación.

El acimut es determinado por el acimut de la estrella o el sol; se obtiene con el ángulo que forma la visual a la estrella con la línea, se deberán hacer varias observaciones en uno varios días, para que el acimut se obtenga de un promedio.

### 2.7.1 Procedimiento de observación

El procedimiento en campo consiste en medir el ángulo horizontal entre una línea en el terreno y la estrella. Se anota el ángulo vertical, la hora de observación en posición directa e inversa para promediar los ángulos y la hora, y se calcular el acimut de la línea a partir de la posición media de la estrella... (Montes de Oca... 1981. *Ibidem*: 269).

Acimut aproximación de  $\pm 1'$

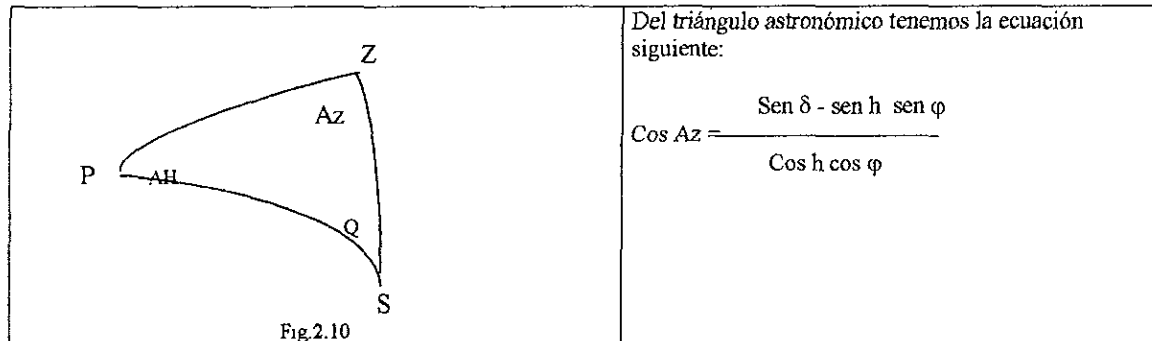
Hora con aproximación de 2 o 3 minutos

Latitud con aproximación de  $10'$

Longitud con aproximación de  $01'$



### 2.7.2 Procedimiento de calculo



Ejemplo 5 (Anuario astronómico 1981 Op.cit: 148 -149).

Para este calculo se utilizaron los mismos datos que para el ejemplo 4.

Cálculo del Acimut		
Fecha	27/ agosto/ 1976	27/ agosto/1976
Serie	1	2
Ls Lectura de la señal	359° 59' 50".00	359° 59' 50".0
Declinación	9° 52' 06".00	9° 51' 49".00
Altura	30° 37' 25".0	34° 42' 02".0
Latitud	31° 00' 16".02	31° 00' 16".0
Sen $\delta$	0.171384616	0.171303417
Cos $\delta$	0.985204199	0.985218321
Sen h	0.509396077	0.569287495
Cos h	0.860532182	0.822138521
Sen $\varphi$	0.515104647	0.515104647
Cos $\varphi$	0.857127297	0.857127297
Sen h sen $\varphi$	0.262392286	0.293242634
Sen $\delta - \text{sen } h \text{ sen } \varphi \dots a$	-0.09100767	-0.121939217
Cos h cos $\varphi \dots b$	0.737585623	0.704677368
Cos Az a/b	-0.12338577	-0.173042619
Az Azimut desde el norte	97° 05' 15".1	99° 57' 53".1
Lc Lectura al sol	275° 00' 05".0	277° 52' 27".0
$\Delta = Az - Lc$	177° 54' 49".0	177° 54' 34".0
Ls - $\Delta$	182° 05' 01".0	182° 05' 16".0
Azimuth promedio	182° 05' 08".0	182° 05' 08".0

Tabla 2.21

### 2.8 Longitud de un lugar

Longitud geográfica es el ángulo que se forma entre el plano meridiano al que pertenece el punto y el meridiano de GREENWICH.

Hay varias formas de calcular la longitud de un lugar:

Por medio de listas de posiciones geográficas (Anuario astronómico) si el lugar de observación viene en la lista.

Midiendo en un plano la distancia en el sentido este - oeste, entre el punto de que se trata y otro de longitud conocida, pero debe conocerse la latitud media de los puntos.

Si se tiene la hora local y puede escucharse por radio la hora de un meridiano base, la diferencia de hora será la diferencia de longitud entre el lugar y ese meridiano.

Calculando la diferencia de ángulos horarios de una estrella cualquiera, los ángulos horarios deben ser los calculados para un mismo momento, uno con respecto al meridiano del lugar y otro con respecto al meridiano que se tome como base (ver ejemplo 2).

Cuando  $h_b > h_l$   $L = h_b - h_l$ ;  $h_b < h_l$   $L = (360^\circ - h_l) + h_b$

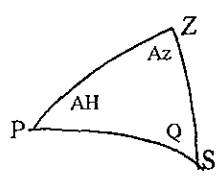
La longitud siempre resulta al oeste de meridiano base y los ángulos horarios se pueden calcular como se determinan los acimutes.

Para situar la posición de las estrellas en un lugar de la tierra se emplean el acimut y la altura (llamadas coordenadas horizontales).

Siguiendo la secuencia del ejemplo anterior se calculará la longitud utilizando los datos de la misma tabla:

### 2.8.1 Cálculo de la longitud

Ejemplo 6

 <p style="text-align: center;">Fig. 2.11</p>	<p>Del triángulo astronómico se calcula el ángulo horario H con la fórmula siguiente:</p> $\cos H = \frac{\text{Sen } h - \text{sen } \delta \text{ sen } \varphi}{\text{Cos } \delta \text{ cos } \varphi}$
--	--

CÁLCULO DEL ANGULO HORARIO Y DE LA LONGITUD		
SERIE	1	2
Sen h	0.509396077	0.569287495
Sen $\delta$	0.171384616	0.171303417
Cos $\delta$	0.985204199	0.985218321
Sen $\varphi$	0.515104647	0.515104647
Cos $\varphi$	0.857127297	0.857127297
Sen $\delta$ sen $\varphi$	0.088281325	0.088239186
Sen h - sen $\delta$ sen $\varphi$ ... a	0.421114752	0.481048377
Cos $\delta$ cos $\varphi$ ... b	0.844445412	0.844457551
Cos H = a/ b	0.498687951	0.569653710
H = en ° de arco	60° 05' 12".3	55° 16' 26".1
AHWG	55° 24' 00".0	60° 12' 48".0
Longitud $\lambda = H + AHWG$	115° 29' 12"	115° 29' 14"
Longitud promedio	115° 29' 13"	

Tabla 2.22

En el trabajo práctico dentro del PROCEDA ya no es necesario realizar todos estos cálculos para obtener la posición de líneas de control azimutal, ya que por medio de los receptores del GPS se recolecta información y a través de programas de cómputo se obtienen las coordenadas geodésicas de líneas de control azimutal monumentadas dentro del superficie de los ejidos. Es decir, con los datos y programas se calculan la latitud, la longitud y la altitud de un vértice, y se obtienen coordenadas geográficas y UTM. Y con esas coordenadas se realizan los dibujos y planos de una parte o de todo el ejido.

## 2.9 La Cartografía

Cartografía es la ciencia, el arte y la técnica de construir toda clase de mapas y cartas, incluidas todas las operaciones desde su planeación hasta su impresión final (INEGI 1994. *Manual de conceptos básicos*: 61).

Mapa es la representación gráfica convencional de la superficie terrestre sobre un plano (INEGI 1994 *Ibidem*: 61)

### 2.9.1 La proyección: su definición

Una proyección es un conjunto de principios matemáticos que sirven para representar en un plano una superficie curva – la Tierra – mediante transformaciones de coordenadas. Una proyección debe garantizar la correspondencia biunívoca entre los puntos o superficies representados y los del plano.

El tamaño del área representada influye en el grado de distorsión. Es evidente que una parcela ejidal o un lote urbano puede medirse y representarse sin tomar en cuenta la curvatura terrestre. Y resulta lo contrario si se intenta representar un país, un continente o el planeta, porque entonces se debe seleccionar una proyección adecuada que no distorsione el espacio que se va a representar.

Aunque el tamaño de un lote o una parcela sean muy pequeños para tomar en cuenta una deformación en curvatura, sí no están ligados a un sistema de referencia o de proyección no se podrán representar cartográficamente. Por tal razón, una proyección debe cumplir el requisito de universalidad, es decir, que desde su sistema de coordenadas se pueda transformar fácilmente en otros sistemas similares.

En la práctica, en cualquier levantamiento topográfico urbano o de catastro rural se utiliza el sistema de coordenadas planas ortogonales, la cual es una proyección conforme, y de aquí se transforma a coordenadas UTM- Universal Transversa de Mercator -. También el Sistema de Navegación Satelital en Tiempo y Rangos (NAVSTAR- GPS) utiliza el sistema ortogonal cartesiano y desde él se transforma al sistema UTM.

“... el factor de escala se define como el factor por el cual el valor numérico de la distancia obtenida en el mapa por cálculo o gráfica, debe multiplicarse para obtener la distancia efectiva. También en el factor de escala se debe multiplicar la distancia geodésica... para obtener la distancia en la proyección cartográfica (Caire Lomeli, Jorge. 1986. Proyección cartográfica para la república Mexicana: 14).

### **2.9.2 Las proyecciones**

En el curso de la evolución de la cartografía se han desarrollado varios tipos de proyecciones. Unas se les clasifica por el tipo de figura geométrica donde se representa la Tierra, cilíndricas, cónicas o policónicas. Otras donde garantiza algunos de los elementos geométricos siguientes:

Conformes: tienen como característica básica conservar la forma del objeto que están representando y por consiguiente también se conservan los valores de los ángulos involucrados en la figura.

Equivalente: se aplican básicamente cuando se quiere calcular la magnitud del área del objeto que está representando para lograr conservar el valor del área. La consecuencia es que la forma del objeto se pierde y con ello los ángulos y las distancias se deforman.

Equidistantes: en éstas las distancias que se determinan a partir de las coordenadas; conservan un valor real, pero el área, la forma y los ángulos se distorsionan.

Acimutales: aquí se conservan las direcciones con respecto a un punto y no varían por la proyección.

Sin embargo, los otros factores se verán afectados. Este tipo de proyecciones se utilizan para cartas de navegación donde se requiere representar las rutas aéreas o marítimas.

En el trabajo cotidiano "... no existe ninguna proyección cartográfica que conserve las cuatro características de forma, área, ángulos y distancias, por lo que se debe sacrificar un elemento para obtener los resultados buscados"(INEGI 1997. "Transversa Modificada Ejidal": 2).

### **2.9.3 Proyección Universal Transversa de Mercator (ÚTM)**

La proyección Universal Transversa de Mercator es la que utiliza oficialmente el INEGI, la Secretaría de la Defensa Nacional, y todas aquellas dependencias encargadas de elaborar mapas en el país.

Sus características generales son las siguientes:

- ✓ Es una proyección conforme. En la transferencia de coordenadas se respeta la dirección de los ángulos de la figura, así como sus distancias. El cálculo de los ángulos en función de las coordenadas de la cuadrícula son reales; en cualquier punto las correcciones a las distancias son las mismas.
- ✓ Utiliza un cilindro en condición secante sobre el cual se proyecta la superficie del elipsoide terrestre que representa la Tierra.
- ✓ Utiliza el sistema geocéntrico donde, desde el centro de la Tierra, se trasladan las direcciones de la superficie terrestre hasta el cilindro.

- ✓ Para evitar en parte las deformaciones de curvatura, los parámetros del cilindro son menores a los del elipsoide (cuyos elementos se definieron arriba).
- ✓ Tiene dos trazas longitudinales de contacto: son dos líneas geodésicas, simétricas y paralelas a un meridiano central. Toda superficie contenida dentro de ellas se denomina zona y representa aproximadamente 360 kilómetros de extensión de la superficie terrestre.
- ✓ Mientras más alejamiento exista del meridiano central, mayor es la distorsión y diferencia entre el norte geográfico y el de la cuadrícula de la proyección (convergencia de meridianos).
- ✓ Cada meridiana central tiene un valor arbitrario de 500 000 m, con el fin de medir los puntos que se encuentran al este y oeste de dicha meridiana; pero son 180 000 m al este y 180 000 al oeste de la meridiana central de 500 000.
- ✓ Todas las zonas de proyección son semejantes; por tanto, analizando una se pueden entender todas.
- ✓ Como proyección conforme conserva los ángulos, pero está sometida a deformaciones que aumentan rápidamente hacia los lados, al alejarse de la línea de contacto; por esta razón se fijaron las líneas de  $6^\circ$  y la condición secante.
- ✓ Tienen una fracción de la línea ecuatorial por zona con valor de 180 grados de norte a sur y 6 grados de este a oeste.

Además, los sistemas nacionales de cartografía "al seleccionar la proyección Universal Transversa de Mercator y su correspondiente sistema de coordenadas, consideraron que, en primer término, conserva el aspecto real del área, mantiene el valor verdadero de los ángulos y cumple con los siguientes puntos:

- El sistema de coordenadas tiene un mínimo de zona o uniones para lograr la exactitud sin necesidad de tener que aplicar correcciones de escala.

- Utiliza una sola tabla de transformación para la conversión de las coordenadas entre dos zonas adyacentes en cualquier elipsoide.
- Utiliza una sola tabla para el cálculo de coordenadas geográficas a coordenadas de la cuadrícula y una tabla para el cálculo inverso” (Caire... 1986 Op.cit: 16 – 17 – 18).

### 2.9.3.1 La definición teórica

En las explicaciones teóricas, comúnmente se representan superficies curvas tridimensionales en planos bidimensionales; pero en la práctica esa representación ha sido uno de los principales problemas de la cartografía. El problema está en cómo representar una superficie curva sin deformarla.

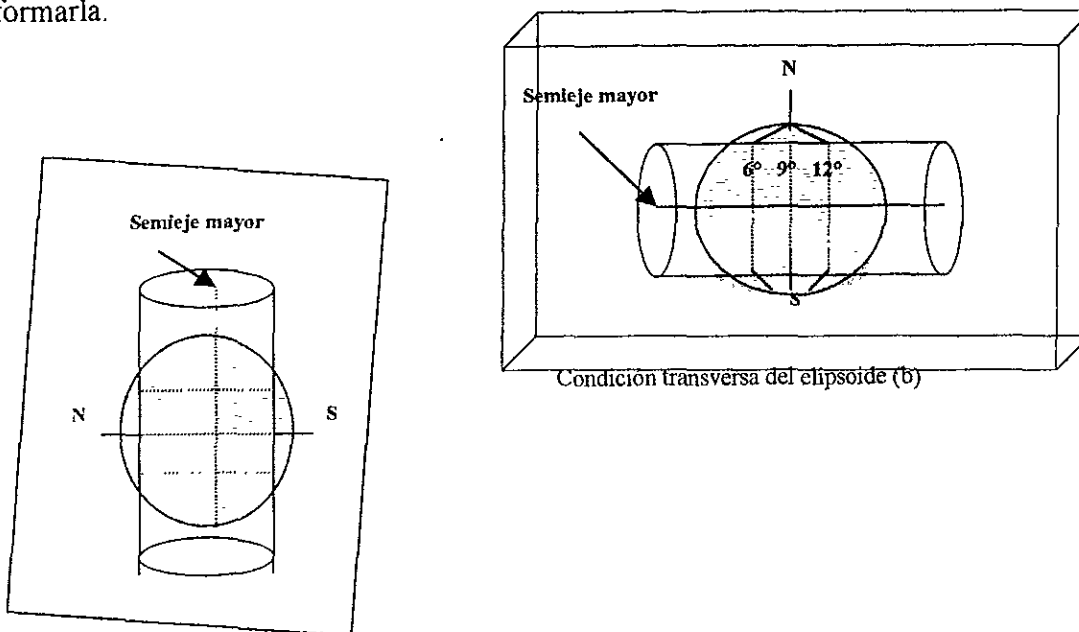


Fig. 2.12 Condición normal del elipsoide (a)

Planteamiento general: teóricamente, si tomamos un cilindro<sup>4</sup>, su diámetro es igual al semieje menor del elipsoide que representa la Tierra, que es el objeto que queremos proyectar o representar. El eje de rotación terrestre es nuestro plano de referencia NS, en condición normal el cilindro estará paralelo al eje terrestre-Fig.3.12 (a) - desde esta posición Mercator giró el cilindro  $90^\circ$  hasta que coincidiera con el plano ecuatorial y quedara transversal al Eje Terrestre -Fig. 3.12 (b)-.

De esta manera, el cilindro queda secante al elipsoide, es decir, lo corta en un plano longitudinal de Polo Norte a Polo Sur, con un plano de contacto de 6 grados<sup>5</sup> de amplitud, llamado zona de proyección (Fig.2.12 (b) 6° a 12°). Si se obtiene la distancia entre dos puntos tangentes a cualquiera de los meridianos de contacto esa distancia es verdadera y en el área de contacto o de intersección entre los territorios que se proyecten serán conformes.

Para cualquier cálculo el elipsoide tiene 360°. Dividiendo  $360^\circ \div 6^\circ$  de la zona de proyección darán 60 zonas UTM por todo el elipsoide. El meridiano de Greenwich y su antimeridiano a 180° son los planos a partir de donde se empieza a contar las zonas UTM; y para no manejar números negativos las zonas se numeran en sentido contrario al giro del eje terrestre. Por tal motivo la República Mexicana queda comprendida entre las zonas 11 y 17 de oeste a este.<sup>6</sup> Para usos prácticos, le corresponden cinco zonas cuyas meridianas centrales al oeste del Meridiano de Greenwich son; 87°, 93°, 99°, 105°, 111°, 117°.

De aquí la importancia de definir con la mejor precisión posible al elipsoide de revolución. (2.2.1)

## 2.10 Geodesia satelital

### 2.10.1 La naturaleza física de la señal satelital

Los osciladores son dispositivos electrónicos que miden el tiempo del sistema GPS.

El electromagnetismo es una fuerza física, que se produce cuando interactúan entre sí un campo eléctrico y un campo magnético (Maiztegui, A. et.al. 1972. Física II: 444).

Un campo electromagnético se propaga por ondas transversales, que se llaman ondas electromagnéticas. Estas ondas se propagan en todas direcciones, y se pueden captar en cualquier punto del espacio con un receptor de señal electromagnética.

---

<sup>4</sup> Condición normal del elipsoide

<sup>5</sup> Sombra de la figura No.1. Para cálculos geométricos y de transferencia de coordenadas se consideran dos puntos de contacto separados 6 grados



Para producir un campo electromagnético se necesitan campos eléctricos y magnéticos variables. La forma más simple de obtenerlos es mediante un circuito oscilante. Un circuito eléctrico es formado con el flujo eléctrico a través de conductores. Dentro de los satélites, estos circuitos se generan utilizando elementos radioactivos de los cuales se transforma la energía radioactiva en eléctrica mediante transformadores miniaturizados. La intensidad del flujo de una corriente eléctrica es variable y, aunque sea continua, se da en forma oscilante. Oscila según la dirección y polaridad de la corriente, de aquí el nombre de osciladores (Maiztegui... 1972 *Ibidem*: 444).

Los campos eléctricos y magnéticos creados en los osciladores de los satélites por la descarga oscilante de la energía radiactiva, son variables (justamente porque la descarga es oscilante). Entonces, los campos eléctricos y magnéticos creados en el satélite son variables y estas variaciones se pueden reproducir en otros puntos p1, p2, p3, p4 – receptores -, a través del espacio por las ondas electromagnéticas.

Si en el satélite el circuito oscila con frecuencia  $f$  entonces las variaciones de los campos también se producen con frecuencia  $f$ . Si colocamos en el satélite otros 3 osciladores y los ajustamos a la misma frecuencia, garantizaremos que si falla alguno lo podemos remplazar con otro.

Las variaciones de los osciladores de los satélites generan ondas electromagnéticas; al captarlas en el posicionador éstas actuarán sobre las cargas de los conductores del oscilador de cuarzo del posicionador y en él se producirán oscilaciones.

### **3.10.2 Los principios de las ondas electromagnéticas producidas por los satélites**

✓ El oscilador produce un campo electromagnético que se propaga por ondas.

Estas ondas se reflejan y refractan, por tanto se pueden interferir.

✓ Las ondas se polarizan y son transversales (por ello la orientación de la antena) y se propagan a la velocidad de 299 792.245 Km/seg (velocidad de luz). Una onda electromagnética tiene una propagación cíclica, por tanto tiene periodo y frecuencia.

✓ El periodo es el tiempo requerido para completar un ciclo y la frecuencia es el número de ciclos por segundo.

✓ El sistema de medidas es el hertz, donde:

1 hertz = 1 ciclo por segundo

1 kilo hertz = 1000 ciclos por segundo

1 mega hertz = 1 000 000 ciclos por segundo

✓ Todas las ondas electromagnéticas se propagan de la misma manera, pero a causa de su diferente longitud de onda tienen variaciones. Así las ondas largas (como las de radio) no tienen inconveniente en “rodear” por difracción cualquier objeto normal interpuesto en su trayectoria. Pero a medida que la longitud de onda disminuye, esa “habilidad” para difractar disminuye también y la propagación se hace en línea recta, como la de la luz.

✓ Las microondas comprenden la porción del espectro cuyas longitudes de onda están comprendidas entre los 30 y 1 cm y una de las aplicaciones más difundidas es el radar<sup>7</sup>.

Actualmente, con el uso del sistema de navegación satelital se está utilizando más este tipo de ondas.

### 3.10.3 Ondas Hertzianas

100 m largas

1 - 100 m cortas

1 - 0.01 m ultra cortas o micro ondas<sup>8</sup>

<sup>7</sup> Siglas de Radio Detection and Ranging (Radio Detección y Rangos)

<sup>8</sup> Dentro de esta banda están las ondas de señal que recibimos en los receptores Z-12, P-12 de dos bandas Y DIMENSION de una banda.

## 2.10.4 Elementos Físicos del Sistema de Posicionamiento Global (GPS)

Una vez que hemos definido qué es un oscilador y cuál es la naturaleza de las ondas electromagnéticas, podemos utilizar estos conceptos para ver como esta compuesta la constelación NAVSTAR.

### 2.10.4.1 Los componentes de un satélite y sus funciones

☺ Cada satélite de la constelación NAVSTAR (NAVEGATION BY SATELLITE TIME & RANGING) tiene cuatro osciladores atómicos (dos de cesio y dos de rubidio) que generan una frecuencia fundamental o frecuencia de fase carrier de  $f = 10.23$  Mhz.

☞ Tienen un amplificador que multiplica la frecuencia  $f$  de fase carrier –portadora- por el factor 154 para obtener la frecuencia portadora  $f_1 = 10.23 \times 154 = 1575.42$  MHz;

El software del posicionador despeja la fórmula siguiente para calcular la longitud de onda.

$$\text{Fig 3 13: } \lambda = \frac{v}{f}, \dots 1$$

$\lambda$  = longitud de onda en cm

$v$  = velocidad de la luz en cm/seg

$f$  = frecuencia hertz (ciclos por segundo)

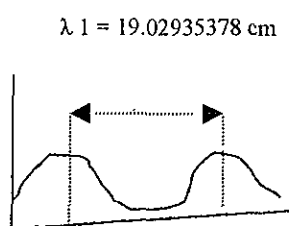


Fig.2.13

$$\lambda = \frac{299\,792\,245 \text{ km/seg}}{1575.42 \text{ Mhz}} \quad \text{transformando a cm} \quad \lambda = \frac{299\,792\,245 \text{ cm/seg}}{1\,575\,420 \text{ ciclo/seg}} ; \quad \lambda_1 = 19.02935376 \text{ cm/ciclo}$$

Para la frecuencia portadora  $f_2$  es la misma secuencia de cálculo de ... 1

$$f_2 = 120 \times 10.23 = 1227.6 \text{ MHz}$$

$$\lambda_2 = \frac{299\,792\,245 \text{ km/seg}}{1227.6 \text{ Mhz}}; \text{ transformando a cm } \lambda_2 = \frac{299\,792\,245 \text{ cm/seg}}{1\,227\,600\,0 \text{ ciclo/seg}}; \lambda_2 = 24.42100399 \text{ cm}$$

☰ Un modulador para integrar sobre la banda L<sup>9</sup> 1 y 2 los códigos P y C/A. Usando una serie de números binarios<sup>10</sup> (código) que van a representar la modulación como cambios de fase o de dirección de la onda electromagnética. Los cambios en la frecuencia de L1 o L2 son constantes y van de 0° a 180° (binarios de 0 a 1).

✓ Código P es una serie muy larga (1 014 caracteres) de modulaciones bifásicas pseudo aleatorias en las frecuencias L1 Y L2, que no se repiten por cerca de 267 días. Cada segmento semanal de código P es único para cada satélite GPS y es re – establecido cada semana por el segmento de control. Con la frecuencia de  $f = 10.23 \text{ Mhz}$  y una longitud de onda de 29.3m

✓ Código S (anteriormente C/A<sup>11</sup>) es una serie de 1023 modulaciones bifásicas binarias pseudo aleatorias en la banda portadora L1, con un período de repetición del código de un milésimo de segundo. Con una frecuencia de intervalo mínima de  $f/10 = 1.023 \text{ Mhz}$ , y una longitud de onda de 293 m (Wells, David. 1985 "Glosario de terminología GPS" CARTOGRAFICA 47-48:112)

Posee un circuito electrónico para codificar el código P. Este mecanismo hace imposible extraer la información de las frecuencias portadoras L1 Y L2. Al encriptar el código P da como resultado el código Y

Código Y = código P + ENCRIPCIÓN (ANTI-SPOOFIN –engaño-)

Tiene un ordenador con un componente físico de micro chips de memoria ROM<sup>12</sup> y RAM<sup>13</sup>.

Externamente, tiene una antena receptora para recibir la señal de las estaciones de control.

<sup>9</sup> Banda L es una banda de radio frecuencia que se extiende desde los 390 Mhz a los 1600 Mhz

<sup>10</sup> El sistema de números binarios utiliza 1 y 0 para codificación

<sup>11</sup> Código C/A CLEAR /ADQUISICION (código de acceso claro)

<sup>12</sup> ROM READ ONLY MEMORY (memoria de sólo lectura).

<sup>13</sup> RAM RANDOM ACCESS MEMORY (memoria de acceso)

☐☐ Y paneles de celdas solares para captar la energía solar.  
☐☐

Los posicionadores GPS que reciben la señal satelital también cuentan con osciladores que reproducen las ondas electromagnéticas de la señal enviada por los satélites.

La precisión del sistema de navegación satelital está basada en la calidad de los relojes (osciladores) colocados en los satélites. Su estabilidad es del orden de  $10^{-11}$  a  $10^{-12}$  para los de Rubidium, y de  $10^{-12}$  a  $10^{-13}$ , para los de Cesio.

La unidad de tiempo del Sistema Internacional de Unidades es el segundo, y está definido como la duración 9 192 631 770 periodos de radiación correspondiente a la transición del estado fundamental del átomo de cesio 133 tomando como referencia esta cantidad, “El día queda definido como 86 400 segundos”.

Aplicando los principios físicos expuestos arriba se deduce lo siguiente; el cesio y el rubidio son elementos radiactivos, su proceso de producción radioactiva es utilizado junto con mecanismos electrónicos para generar campos eléctricos y magnéticos, es decir, la radioactividad es transformada en ondas electromagnéticas para que dentro de los satélites funcionen como osciladores de transmisión (Caturla, Sánchez N.J. 1988. Sistema de Posicionamiento Global; 24).

Las señales de tiempo radiodifundidas por los satélites en su mensaje de navegación están sincronizadas con los relojes atómicos de las estaciones de control.

### **2.10.5 La constelación de navegación satelital (NAVSTAR)**

El nombre de constelación está derivado de las funciones que tenían las estrellas para la triangulación en Astronomía de Posición. El GPS como parte del sistema de Navegación por Satélite

---

en Tiempo y Distancias (NAVSTAR por sus siglas en inglés) empezó a funcionar desde en 1973. Y hasta antes de 1992 la constelación estaba compuesta por 18 satélites principales<sup>14</sup> y 7 de repuesto.

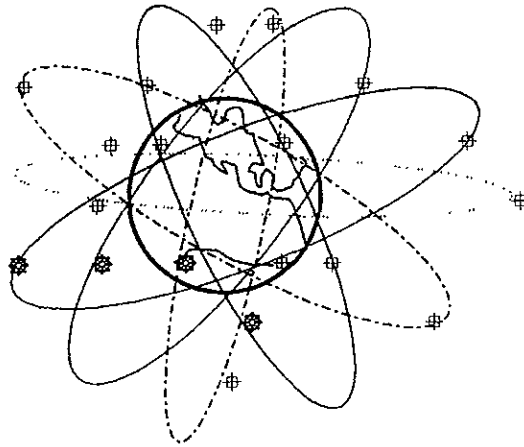


Fig.2.14

Cada satélite en el espacio tiene una órbita casi circular, con una excentricidad de 0.01.

Tienen a una altitud promedio de 22 200 km.

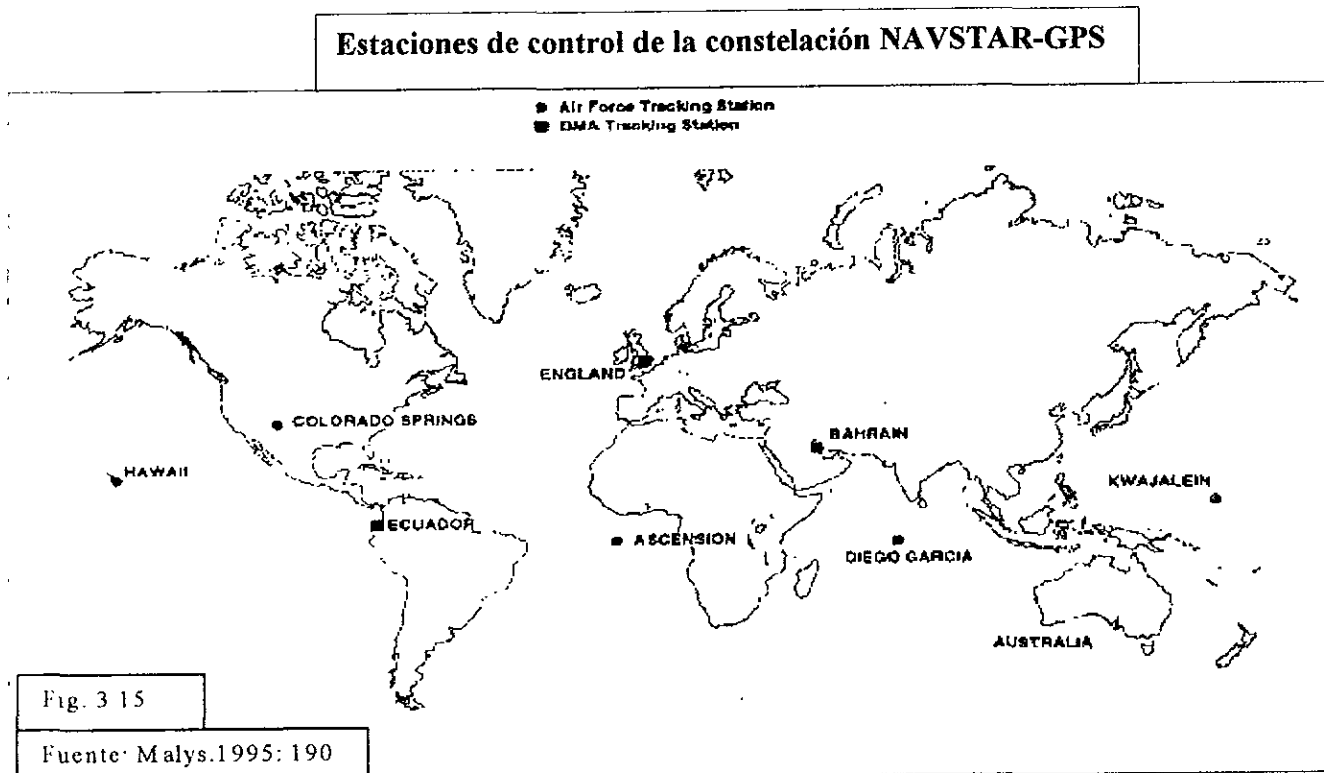
De la Fig 2.14 vemos que en 6 planos orbitales están distribuidos 24 satélites. Cada órbita tiene entre sí  $60^\circ$  de separación y  $55^\circ$  de inclinación respecto al ecuador. Cada plano tiene 4 satélites espaciados uniformemente a  $90^\circ$  de separación. Esta configuración asegura que sobre el horizonte de cualquier lugar de la Tierra serán observables de 4 a 7 satélites y podrán permanecer en el horizonte de la antena receptora cuando tengan una posición cenital por más de cinco horas.

En un futuro inmediato (20 años) seguirá funcionando porque constantemente el Departamento de Defensa de Estados Unidos está renovando los satélites.

<sup>14</sup> Actualmente son 24.

### 2.10.6 El segmento de control

Cuando empezó el funcionamiento de la constelación satelital, el sistema de control o de monitoreo estaba compuesto por una estación maestra, ubicada en Colorado Springs E.U. (MALYS et. al. 1995 "PPS AND SPS INTEGRITY MONITORING WITH AN INDEPENDENT GLOBAL TRACKING NETWORK" CARTOGRAFICA 62: 135) Cuatro estaciones de rastreo y seguimiento que están ubicadas en: Océano Atlántico (Isla Ascensión); Océano Indico (Isla Diego García); Pacifico Sur (Isla Kwajalein); Pacifico (Isla Hawaii). Actualmente, la estación maestra está en Washington E.U, y además se han sumado otras cuatro estaciones al sistema de control (fig 2.15) Ecuador, Inglaterra, Bahrein y Australia.



Entre las funciones del sistema de monitoreo están las siguientes:

- ⇒ Monitoreo de los satélites mediante la recepción de la señal satelital, procesamiento y análisis de las frecuencias recibidas.

- ≡ Diagnóstico del estado de cada oscilador, para estimar el tiempo del GPS y corregir sus desfases con el reloj maestro instalado en Washington (sincronizado con el Tiempo Atómico Internacional).
- ≡ El cálculo de las efemérides de cada satélite para corregir la órbita de cada satélite.
- ≡ Con el cambio de la nueva Estación Maestra se instaló en 1995 un oscilador atómico de Hidrógeno incorporado al Tiempo Universal Coordinado. Con este cambio físico, se ajustó la magnitud para que un reloj maestro hiciera coincidir el tiempo del sistema de navegación satelital del GPS con el Tiempo Universal Coordinado en un orden de 10 nonasegundos (0.0000000001 seg). Porque en cualquier proceso de determinación precisa de una órbita se requiere hacer una transformación desde el sistema geocéntrico de referencia (Sistema geodésico Mundial 1984<sup>15</sup>) hacia el sistema de centro inercial de la tierra ITRF92<sup>16</sup>, que utiliza el Tiempo Universal Coordinado dependiente de la escala de Tiempo Atómico Internacional (MALYS, STEPHEN 1995 "*PRECISE TIMING APPLICATION AT THE DEFENSE MAPPING AGENCY*" *CARTOGRAFICA* 63: 187).

En la Fig.3.16 se muestran los componentes electrónicos que se utilizan para cumplir las funciones de arriba.

Además, se destaca el hecho de que dentro del equipo de las estaciones de monitoreo estén instalados dos posicionadores del GPS marca ASHTECH Z12 similares a los que se utilizan en él PROCEDE D.F.

Lo que permite analizar más a fondo este tipo de posicionadores en el capítulo siguiente.

En síntesis, los satélites han sustituido a las estrellas para dar posición y coordenadas precisas a redes geodésicas. En tierra, las estaciones de control del Departamento de defensa de E.U., estaciones de la red geodésica nacional activa son puntos de control con coordenadas conocidas a partir de las cuales se propagan coordenadas para conformar la nueva red geodésica nacional.

<sup>15</sup> WGS84 WORDL GEODETIC SYSTEM OF 1984 (Sistema Geodésico Mundial de 1984)

<sup>16</sup> INTERNATION TERRESTRIAL REFERENCE FRAME (Red de Referencia Terrestre Internacional 1992)



## Componentes de una Estación de Monitoreo GPS.

### DMA GPS MONITOR STATION

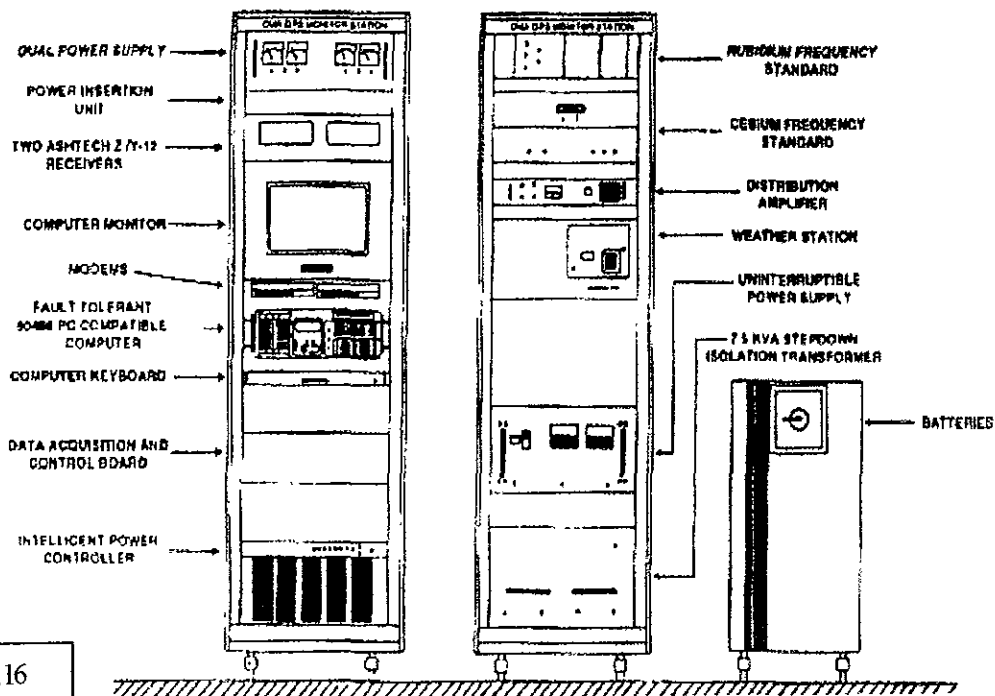


Fig 3.16

Fig 3 15 FUENTE (op.cit MALYS 1995: 191)

Para hacer un levantamiento geodésico no hace mucho los especialistas utilizaban la astronomía de posición, donde las referencias y las triangulaciones eran realizadas con los astros.

En la constelación de navegación satelital NAVSTAR, los satélites en cierto modo reemplazan a las estrellas usadas en la astronomía de posición y que tradicionalmente se utilizadas para la navegación y el control geodésico.

### 2.10.7 Los principios básicos en la operación del GPS

La triangulación se realiza desde los satélites.

1. Para triangular en la medición de distancias, se calcula el tiempo de viaje de un radio mensaje.
2. Para medir el tiempo de viaje, las mediciones requieren de relojes altamente precisos.  
(0.0000000001 segundos).

3. Una vez que es conocida la distancia del satélite, se requiere conocer su posición en el espacio.

4. Conforme la señal de radio navegación viaja a través de las distintas capas de la atmósfera terrestre sufre retrasos, de no existir éstos, se recibirían rangos de señal, en vez de pseudorangos.

La medición del GPS (por satélite) está basada en que una posición sobre la tierra se determina midiendo la distancia en ese punto hasta un grupo de satélites en el espacio.

En pocas palabras, para conocer la ubicación exacta de un punto sobre la superficie terrestre se necesitan conocer sus coordenadas en cuatro dimensiones: latitud, longitud, altitud y tiempo.

#### 2.10.7.1 Datum Satelitario

Un datum satelitario es el Sistema Geodésico de Referencia a partir del cual son calculadas las llamadas efemérides de navegación de los satélites.

Los cálculos para determinar la posición precisa de los satélites se realizan sobre el elipsoide de referencia y sobre el elipsoide de navegación (efemérides de navegación) en función de los parámetros keplerianos: constante de gravitación universal, velocidad angular y factor dinámico de forma<sup>17</sup> (geoide por armónicas esféricas)

---

<sup>17</sup> Como vimos en la definición del geoide, la Tierra es elástica. (3.4) Por tanto su forma y dimensiones no son constantes. Las fuerzas gravitatorias, movimiento inercial en el sistema solar y la rotación sobre su propio eje son factores físicos que influyen para el cambio constante de su forma. Los satélites forman parte del sistema físico de la Tierra; como tales, tienen que estar corrigiendo sus trayectorias (elipses de trayectoria).

El elipsoide de revolución es la forma matemática que más se asemeja a la tierra, por tanto también constantemente se tiene que corregir su cálculo.

## 2.10.8 El Sistema Geodésico de Referencia

Se trata del conjunto de valores numéricos, de constantes geométricas y físicas, que definen en forma única un marco matemático sobre el cual se va a determinar la forma y tamaño de la tierra o parte de ella, incluyendo su campo gravitacional. Y a partir del cual también se van a calcular las constantes y parámetros para definir y corregir órbitas de los satélites de la constelación satelital NAVSTAR-GPS. (INEGL 1994. *La Nueva Red Geodésica Nacional*: 1)

### 2.10.8.1 El Sistema Geodésico Mundial WGS84

Inicialmente, la Red de Geodésica Referencia Mundial WGS84 fue creada a través de una serie de observaciones Doppler del Sistema Naval de Navegación (TRANSIT-DOPPLER), para dar coordenadas a las diez estaciones de control distribuidas por todo el planeta, y fue definida a partir de un sistema de coordenadas tridimensionales cartesianas con su origen coincidiendo con el centro de la Tierra<sup>18</sup>, el eje z paralelo al eje terrestre, el eje x paralelo con el meridiano de Greenwich, y el eje y perpendicular a los dos anteriores. Más el tiempo que fue definido al nivel de 0 000000001 segundos<sup>19</sup> (nonasegundo).

Con el paso del tiempo, los investigadores del Departamento de Defensa de Estados Unidos demostraron que con las coordenadas geocéntricas originales del WGS84, derivadas del Sistema Naval de Navegación (TRANSIT), no era posible determinar con mayores precisiones los cálculos de las órbitas de los satélites del GPS, ni tampoco alcanzar los niveles de precisión que se alcanzaban con las coordenadas del ITRF92 y los parámetros asociados del Sistema Geodésico de Referencia GRS80.

Después de múltiples investigaciones se descubrió que el desplazamiento por la tectónica de placas continental había movido las coordenadas en las estaciones de control desde algunos centímetros

<sup>18</sup> En EE.UU este sistema se conoce como EARTH-CENTER EARTH-FIX (EC-EF) Coordenadas Cartesiana de centro fijo.

<sup>19</sup> Según la definición de BIH (oficina internacional de la hora) de París Francia.

hasta medio metro en el caso de la estación de Kwajalein, y por tanto no podían servir para el cálculo preciso de las trayectorias de los nuevos componentes de la constelación satelital (MYLES 1995 Op. Cit: 112) .

Para corregir esas inconsistencias en el Sistema Mundial WGS84, el Departamento de Defensa ajustó las coordenadas de todas las estaciones de control, reajustó los cálculos de las órbitas de la constelación de navegación satelital NAVSTAR-GPS, instaló un oscilador atómico de Hidrógeno maestro en Washington, bajando la escala en el cálculo del tiempo en una décima, compatibilizó la escala de tiempo GPS con la escala del Tiempo Atómico Internacional, ligó la red de referencia de las estaciones de control a la Red del Sistema de Referencia Terrestre Internacional IERS93 y consecuentemente, en el ajuste de las coordenadas utilizó todos los parámetros del Sistema Geodésico de Referencia GRS80 y las coordenadas del ITRF92.

Sin embargo, hay un detalle con el cual se diferencia el Sistema Geodésico Mundial WGS84 de la Red del Sistema de Referencia Terrestre Internacional IERS93. El factor dinámico de forma del geoide que define el potencial gravitatorio terrestre está calculado a la ecuación armónica de zona  $(C_2, 0)$ , que influyen en el cálculo del sistema de coordenadas tridimensionales y los parámetros del elipsoide de referencia. ¿Qué significa esta diferencia? El campo de gravedad WGS84 (geoide) tiene variaciones que son descritas matemáticamente en un área cercana a los 200 por 200 Km.

En contraparte, el elipsoide de referencia del Sistema GRS80 como veremos utiliza un factor dinámico de forma no normalizado en el tercer armónico zonal del potencial gravitacional terrestre  $(J_2, 0)$ .

En términos prácticos, en las coordenadas derivadas de ambos sistemas no existirán ningunas diferencias en longitud ni en latitud, el detalle estará definido por  $\varphi'' = f \sin \varphi / \sin 1''$ , la cual

alcanza su valor máximo a los 45° de latitud, siendo la diferencia de 0.000003 segundos de arco o 0.0001 metros, lo que desde el punto de vista cartográfico resulta despreciable (INEGI. 1994. Op.cit:4).

### 2.10.8.2 El Sistema Geodésico de Referencia 1980 (GRS 80)

El Sistema Geodésico de Referencia GRS80 fue el resultado de un programa de colaboración internacional para monitorear la rotación terrestre y comparar las técnicas de observación y análisis. Fue definido por la aplicación de nuevas técnicas como la medición láser satelital (SLR)<sup>20</sup> e interferometría de base muy larga (VLBI)<sup>21</sup>.

Previo a 1980, en distintas Asambleas de la Unión Astronómica, Unión Geodésica y Geofísica Internacional, se había estado reconociendo que el sistema de coordenadas terrestres, basadas en datums locales, era inadecuado para las nuevas exigencias de precisiones en las investigaciones sobre el movimiento de rotación del eje terrestre y para las precisiones en el cálculo de las órbitas de los satélites.

Después de múltiples debates acordaron establecer un nuevo sistema de referencia tomando en cuenta la dinámica terrestre. La Oficina Internacional de la Hora en Francia fue la encargada de definir los parámetros del Nuevo Sistema Internacional de Referencia Terrestre IERS.

El Sistema Geodésico de Referencia GRS 80, definido por la Oficina Internacional de la Hora, tiene asociado un elipsoide de revolución equipotencial terrestre y es la base de las coordenadas ITRF92.

Este sistema esta determinado por los siguientes parámetros:

- Radio Ecuatorial  $a = 6\,378\,137\text{ m}$
- Constante Gravitatoria  $GM = 398\,6004.418 \times 10^{-8}\text{ cm}^3/\text{seg}^2$
- Factor Dinámico de Forma  $J_2 = 108\,263 \times 10^{-11}$  (momento de inercia)
- Velocidad Angular  $\omega = 729\,2115 \times 10^{-11}\text{ Rad/seg}$

<sup>20</sup> Satellite Laser Ranging

<sup>21</sup> Very Long Baseline Interferometry

### **2.10.8.3 El Marco del Sistema Terrestre de Referencia Internacional: coordenadas ITRF92.**

#### **Época 1988**

En 1985, por acuerdo de la Conferencia Internacional de Rotación Terrestre y la Unión Astronómica Internacional, se decidió transformar la Oficina Internacional de la Hora en el nuevo Servicio Internacional de Rotación Terrestre. El cual entró en operación el primero de enero de 1988 utilizando los parámetros del GRS 80.

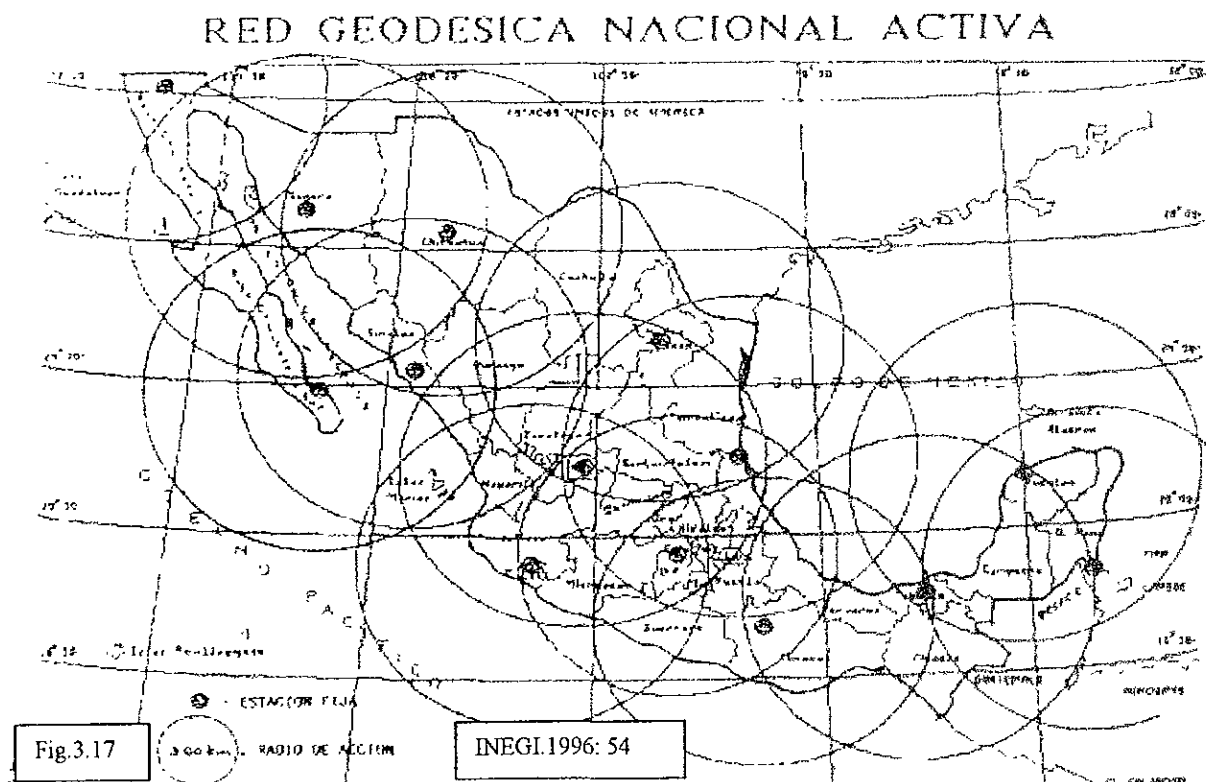
Este Servicio es el encargado de coordinar el estudio del movimiento terrestre y la variación en el movimiento del Polo, así como definir con precisión las coordenadas y los parámetros de referencia de la nueva red Terrestre Internacional IERS93 (Muller I, Ivan. 1985 "EARTH ROTATION AND THE TERRESTRIAL REFERENCE FRAME" Cartográfica 47-48: 88).

En una primera etapa, el IERS empezó a funcionar en 1988 cuando entró en operación el Servicio Internacional de Rotación Terrestre, y fue hasta 1992 cuando se incorporaron a ella aquellos centros de investigación donde se realizaban las observaciones de las Mediciones de Interferometría de Base Muy Larga (VLBI), Mediciones Láser a Satélite, Mediciones de la distancia lunar por Láser, y estaciones Doppler.

En una segunda etapa, a partir de lo que se ha llamado IERS88, se calcularon las coordenadas ITRF92 con los parámetros del GRS80, y a las cuales se han venido ligando la Red Terrestre de Referencia Internacional con nuevos centros de investigación y estaciones de monitoreo. La red IERS está coordinada por el Servicio de Rotación de la Tierra y emplea estaciones VLBI, SLR, SLL, Doppler y las del Sistema de Navegación Satelital GPS (Muller... 1985 *Ibidem*: 96).

En otras palabras, mundialmente el Servicio de Rotación de la Tierra utiliza el marco Terrestre de Referencia Internacional GRS80 para proporcionar soluciones globales tridimensionales y geodinámicas. Todos los trabajos geodésicos, cartográficos, de navegación y de tiempo incluidos en el sistema GPS y el GLONASS ruso están ligados al GRS80 y las coordenadas ITRF 92.

Por otro lado, las coordenadas ITRF92, época 1988, significa que el Sistema de la Red Terrestre Internacional queda ligado en función de la información disponible para la época 1988, que fue cuando el Servicio Internacional de Rotación de la Tierra entro en operación. Como las coordenadas ITRF92 tienen su posición de origen en el centro de masa de la tierra, éste varia por los diferentes efectos geodinámicos producto de la deriva continental y la tectónica de placas, y como consecuencia, también cambian cada una de las soluciones que se calculen tomando como referencia el elipsoide asociado y sus parámetros. Cada uno de los centros ligados a la Red IERS actualiza constantemente sus coordenadas en función del tipo de observaciones que realizan. En este sentido cabe aclarar que desde 1992 INEGI ha estado ligado a las coordenadas ITRF92 ya que desde ese entonces cuenta con equipos de posicionamiento GPS instalados en 14 estaciones de recepción de señal satelital, las cuales conforman la Nueva Red Geodésica Nacional Activa (Fig.2.16). También desde entonces y hasta 1998, se han actualizado las coordenadas de 4 estaciones de la Red por las razones expuestas arriba.



En 1995, el INEGI decidió ligar los trabajos geodésicos que se realizan en México a la Red de Referencia Terrestre Internacional IERS, utilizando las coordenadas ITRF92 Epoca 1988.0 y los parámetros del GRS 80 para cualquier trabajo de tipo geodésico donde se utilice el sistema Doppler, el sistema de medición por rayos láser o el posicionador GPS. (Diario oficial. 1992 Normas Técnicas... 33)

En cuanto a los trabajos gravimétricos, el 28 de marzo de 1997 el INEGI logró concluir el modelo geoidal México'97 que cubre una extensión desde el paralelo 14° a 33° de latitud norte y de meridiano 119° a los 86° de longitud Oeste.

“Para el desarrollo del modelo se utilizaron un millón de valores de gravedad terrestre y marinos, se empleo la técnica de Transformación Rápida de Fourier con la finalidad de calcular la estructura geoidal detallada.

Lo anterior da como resultado una retícula de alturas geoidales gravimétricas con espaciamiento cada dos minutos de latitud y longitud, referida al elipsoide normal en el Sistema Geodésico de Referencia 1980 (GRS80), en el marco del Sistema Internacional de Referencia Terrestre 1994”, pero con solución ofrecida del Servicio Internacional de Rotación de la Tierra con coordenadas ITRF96 (INEGI 1997 “Modelo Geoidal México 97”. INEGI No.2: 50).

Por último, el INEGI es el organismo rector encargado de actualizar las coordenadas y parámetros de sus estaciones fijas en función de los cambios en las coordenadas dictadas por el Servicio Internacional de Rotación de la Tierra. Las estaciones fijas que han modificado sus coordenadas son: Chihuahua (3 veces), Colima (2 veces), Hermosillo (2 veces), y Monterrey (2 veces) (INEGI “Calendario GPS 1988”). También el INEGI es encargado de proporcionar la información colectada por las estaciones fijas a través de sus centros de publicaciones. Bajo estos lineamientos, cualquier trabajo de tipo geodésico que utilice la tecnología satelital estará regido por esta Institución.



Los conceptos generales de Geodesia tradicional y de Geodesia por satélite expuestos hasta aquí se retomarán en el siguiente capítulo para explicar las disposiciones de las nuevas normas técnicas y las particularidades de los trabajos de geodesia que realiza el INEGI a través del programa PROCEDE.

*Capítulo III*  
*La Estructura operativa*  
*del Programa PROCEDE.*

### 3.1 Normas técnicas para los levantamientos geodésicos

Ya existen antecedentes sobre las normas técnicas para el desarrollo del operativo del PROCEDE (Merlan, Chávez Bernabe. 1995. *El proceso de generación de cartografía ejidal, elaborada por INEGI en función del PROCEDE*) pero quedan vagas las ideas en torno a las normas técnicas para los levantamientos.

Para que un levantamiento sea considerado como geodésico deberá tomar en cuenta los efectos de la curvatura terrestre, un marco de referencia, origen, para ejecutarse con instrumental y procedimientos que permitan comprobar una precisión interna compatible con las especificaciones de exactitud que se consignan en las normas técnicas (Diario Oficial 1985. Normas Técnicas para los levantamiento Geodésicos: 13).

### 3.2 Tipos de levantamientos geodésicos

Levantamientos geodésicos horizontales: son aquellos que comprenden una serie de medidas efectuadas en campo, cuyo propósito final consiste en determinar las coordenadas geográficas (geodésicas) horizontales de puntos situados sobre la superficie terrestre...

Levantamientos geodésicos verticales: comprenderán todas aquellas operaciones de campo dirigidas a determinar la distancia vertical que existe entre puntos situados sobre la superficie terrestre y cierto nivel de referencia.

Levantamientos geodésicos verticales: son aquellos que comprenden las medidas de valores absolutos o relativos del valor de la gravedad de puntos situados sobre la superficie terrestre, cuyo propósito consiste fundamentalmente en determinar el campo gravimétrico existente y su relación e influencia sobre los tipos de levantamientos geodésicos horizontal y vertical... un mismo punto de la superficie terrestre puede ser objeto de la medición de los tres tipos de métodos en tanto cumpla con las características requeridas.

Todo punto perteneciente a un levantamiento geodésico horizontal, deberá estar referido al NAD27.

Parámetros del NAD27 (Diario Oficial... 1985. *Ibidem*: 13):

- ♦ Elipsoide de referencia CLARK DE 1866
- ♦ Semieje mayor (a) 6 378 388m
- ♦ Vértice origen MEADES RANCH KANSAS, EE.UU
- ♦ Latitud de origen  $39^{\circ} 13' 26.686''$
- ♦ Longitud de origen  $98^{\circ} 32' 30.506''$
- ♦ Desviación vertical en el meridiano  $-1.02''$
- ♦ En el primer vertical  $-1.79''$
- ♦ Altura geoidal en el origen 0.00m
- ♦ Acimut de origen a la estación WALDO desde el sur  $75^{\circ} 29' 09.64''$

Los levantamientos geodésicos verticales deberán estar referidos a un DATUM o nivel de referencia vertical obtenido mediante una serie de medidas mareográficas que cubran un período no menor a seis meses de medición en forma continua... por lo que se refiere a la gravedad, todo punto perteneciente a un levantamiento gravimétrico de propósitos deberá estar referido a la Red Internacional de Estandarización de la Gravedad de 1971 (IGSN-71) (Diario Oficial... 1985. Ibidem: 14)

Se define como Red Geodésica Nacional al conjunto de puntos situados sobre el terreno, dentro del ámbito del territorio nacional, establecidos físicamente mediante monumentos permanentes, sobre los cuales se han hecho medidas directas y de apego a los parámetros físicos, que permiten su interconexión y la determinación de su posición y alturas geográficas, así como el campo gravimétrico asociado, con relación a un sistema de referencia dado.

### 3.3 Etapa de los levantamientos geodésicos

Diseño y pre – análisis: la etapa de diseño consistirá en el establecimiento de las condiciones geométricas, técnicas, económicas y de factibilidad que permitan la elaboración de un anteproyecto para realizar un levantamiento dado, destinado a satisfacer una necesidad. Esta etapa está íntimamente ligada con el pre – análisis, el cual deberá tomar en cuenta factores ligados con la

exactitud requerida, disponibilidad de equipo, materiales, personal y demás facilidades o requerimientos, incluyendo la consideración de factores ambientales previstos, de modo que sea posible hacer un diseño óptimo, para establecer las normas y procedimientos específicos del levantamiento.

a) Reconocimiento y monumentación son todas aquellas operaciones de campo destinadas a verificar sobre el terreno las características definidas por el diseño y para establecer las condiciones y modalidades no previstas por el mismo.

En la práctica, el mejor levantamiento no es el más preciso sino el que cumple con los objetivos establecidos.

b) Observación de campo, es la recolección de información cruda de direcciones y distancias

c) Cálculos de gabinete son todas las operaciones, cálculos, correcciones, reducciones, ajustes o compensaciones a seguir, mediante la evaluación y análisis en detalle de los resultados del cálculo y ajuste, con el fin de juzgar la bondad del levantamiento y retroalimentar el diseño.

d) Elaboración de una memoria final, resumiendo los aspectos relevantes de cada una de las etapas de los levantamientos.

Todo levantamiento deberá iniciarse y terminar en puntos de parámetros conocidos, previamente determinados en otros levantamientos del mismo tipo, cuyo orden de exactitud sea igual o mayor al que se propone para el levantamiento en ejecución.

La conexión se establecerá haciendo observaciones sobre los parámetros característicos del caso; direcciones y distancias en levantamientos geodésicos horizontales, diferencias de elevación en el caso de levantamientos verticales y diferencias de gravedad cuando se trate de levantamientos gravimétricos.

Para la medida de ángulos horizontales se deberá realizar con teodolitos geodésicos con capacidad de lectura de 0.2" a 1.0" de arco, como lo son el WILD T2, T3 y el ZEIS. Para efectuar las

observaciones se deberá seguir haciendo el número de series, especificando para cada orden de exactitud a partir de las reiteraciones observadas en el círculo horizontal.

Para la medida de distancias se deberán utilizar distanciómetros electrónicos, que utilicen radiación electromagnética del tipo electro – óptico, de microondas o infrarrojos, con una precisión de 0.5 a 2.0 cm (por la constante de error instrumental, más una parte variable comprendida dentro de 2 a 5 partes por millón de la distancia medida) como son: el telurómetro, geodímetro, aulo – tape, etc.

Solamente para los efectos de comprobación especificados de las medidas se permitirá el desplazamiento longitudinal del instrumento en la dirección de la línea, en cantidades de 20 a 40 cm, para lo cual deberá medirse y registrarse dicho desplazamiento.

Se citan estas partes de las normas técnicas porque aquí hay una diferencia específica con respecto a las normas técnicas del PROCEDE y sobre todo porque ya existe una reforma (Diario Oficial 1998.

Normas Técnicas para levantamientos geodésicos) que viene a actualizar las anteriores y donde se centra la legislación en los levantamientos con posicionadores GPS y distanciómetro electrónico, como a continuación se exponen.

Como vimos en el capítulo anterior, la Geodesia ha rebasado la base geométrica bidimensional tradicional y actualmente utiliza conceptos físico - dinámicos tridimensionales. El uso de nuevas tecnologías en las mediciones geodésicas vino a complementar los métodos tradicionales de posicionamiento astronómico, triangulación, trilateración, poligonación, intersección y resección, se agregan el posicionamiento global (GPS) y el sistema Doppler.

Otro hecho importante que contempla la nueva ley que la Red Geodésica Nacional que se había densificado tomando al Datum Norteamericano de 1927 (NAD27), citado arriba, a partir de este año cambia y se toma como un nuevo Sistema Geodésico de Referencia. Además se establecen 14 estaciones de la nueva Red Geodésica Nacional Activa.

El nuevo Sistema Geodésico de Referencia (SGR) es el GRS80 y las coordenadas de referencia son las ITRF92 Epoca 1988 (los cuales vimos arriba). Las coordenadas cartesianas obtenidas con este nuevo sistema de referencia deben transformarse a coordenadas geodésicas elipsoidales tomando los parámetros del elipsoide del Sistema Geodésico de Referencia (GRS80) para hacer los cálculos de transformación de coordenadas (Diario Oficial 1998... 10).

### Levantamientos geodésicos horizontales no satelitarios

LEVANTAMIENTO	INSTRUMENTO	METODO	PRECISION PARTES POR MILLON (PPM)		ORDEN	CLASE	ESTUDIO
HORIZONTAL	TEODOLITO GEODESICO	TRIANGULACION TRLATERACIO TRIANGULATERACION POLIGONACION	1.0"	1 : 50 000	C	I	- CONTROL PRIMARIO -PROYECTOS DE INGENIERIA -INVEST. CIENTIFICA
HORIZONTAL	TEODOLITO GEODESICO	ASTRONOMICO	1.0 "	1 : 50 000	C	I	CONTROL PRIMARIO
HORIZONTAL	DML*	GEODESICO	0 5"	1 : 100 000	C	UNICA	CONTROL PRIMARIO
VERTICAL	NIVEL	NIVELACION	0 5"	1 : 100 000	C	UNICA	NIVELACION DE INFRA- ESTRUCTURA
GRAVIMETRICO	VARIOS	-----	< 0.1 mg al.	1 : 100 000	C	UNICA	GRAVIMETRIA

Tabla 3. 1

- distanciómetro electrónico

## Levantamiento geodésico con satélite

LEVANTAMIENTO	EQUIPO	METODO	PRECISION	ORDEN	CLASE	ESTUDIO
HORIZONTALES	-REC.GPS -REC. DOPPLER -DML*	DIFERENCIAL DOPPLER RSL**	1:100 000000	AA	UNICA	- TECTONISMO - DEFORMACION DE LA CORTEZA TERRESTRE
HORIZONTALES	-REC.GPS -REC.DOPPLER -DML*	- DIFERENCIAL - DOPPLER - RSL**	1:10 000000	A	UNICA	- RED DE REFERENCIA NACIONAL BASICA - DEFORMACION LOCAL DE LA CORTEZA
HORIZONTALES	-REC.GPS -REC.DOPPLER	- DIFERENCIAL - DOPPLER	1:1 000000	B	UNICA	- RED BASICA DE DENSIFICACIÓN - INGENIERIA DE ALTA PRECISION - GEODINAMICA
HORIZONTALES	-REC.GPS -REC.DOPPLER	- DIFERENCIAL - DOPPLER	1:50 000	C2°	I	- DENSIFICACION RED URBANA - FRACCIONAMIENTO S - LIMITES ADMINISTRATIVOS
HORIZONTALES	-REC. GPS -REC. DOPPLER	- DIFERENCIAL - DOPPLER	1:20 000	C2°	II	- DESARROLLO URBANO - APOYO CARTOGRAFICO - PROCESOS FOTOGRAFICOS
HORIZONTALES	-REC.GPS -REC-DOPPLER	- DIFERENCIAL - DOPPLER	1:10 000	C3°	I	- PROYECTOS LOCALES DE DESARROLLO - LEVANTAMIENTOS TOPOGRAFICOS - LEVATAMIENTOS HIDROGRAFICOS
HORIZONTALES	-REC.GPS REC DOPPLER	- DIFERENCIAL - DOPPLER	1:5 000	C3°	II	- LEVANTAMIENTOS DE SEGUNDO ORDEN - INGENIERIA EN AREAS RURALES

Tabla 3.2

\*\* RANGE SATELLITE LASER (distancia satelital láser)



### 3.4 El esquema operativo del Programa PROCEDE

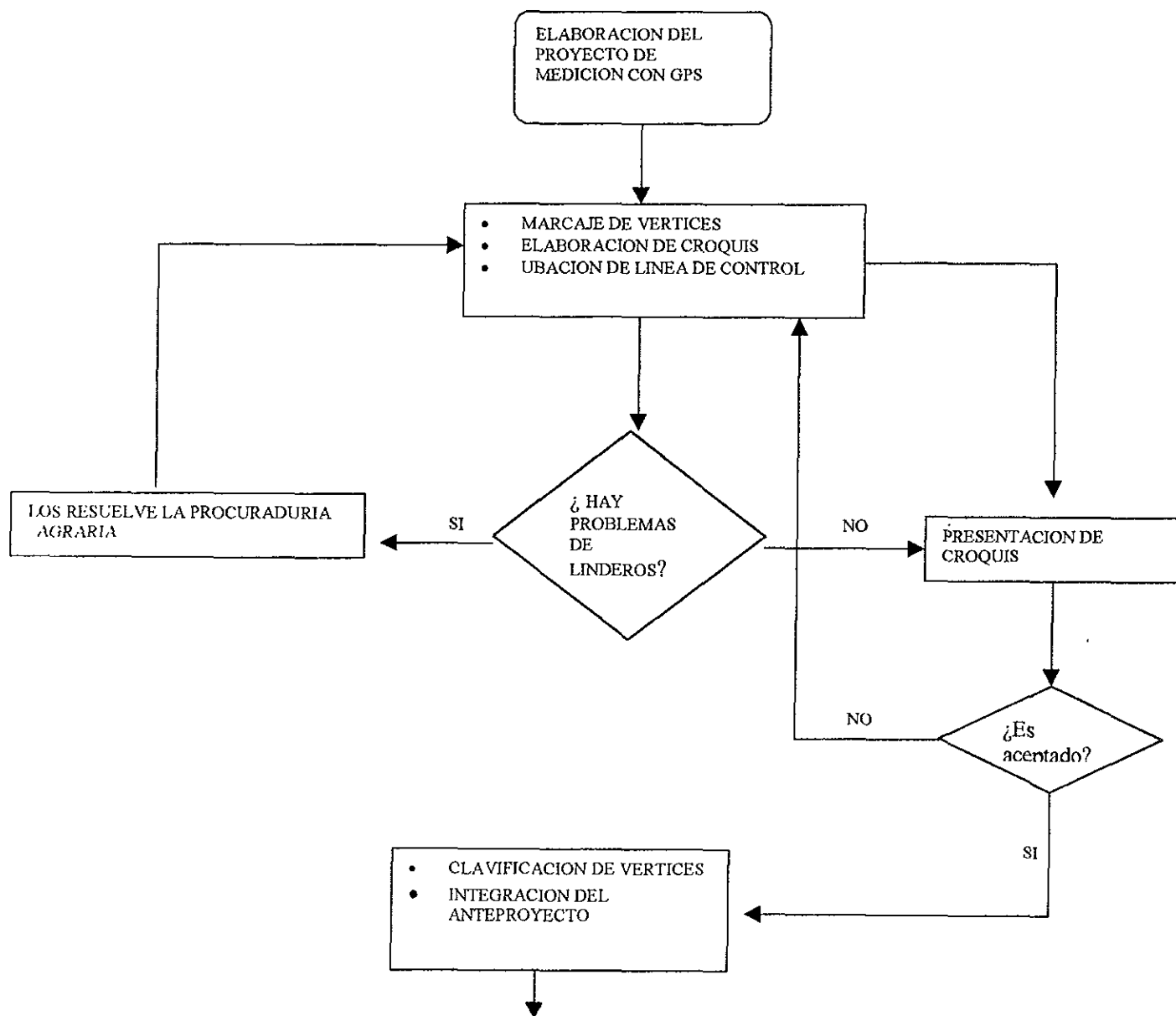


Fig.3.1

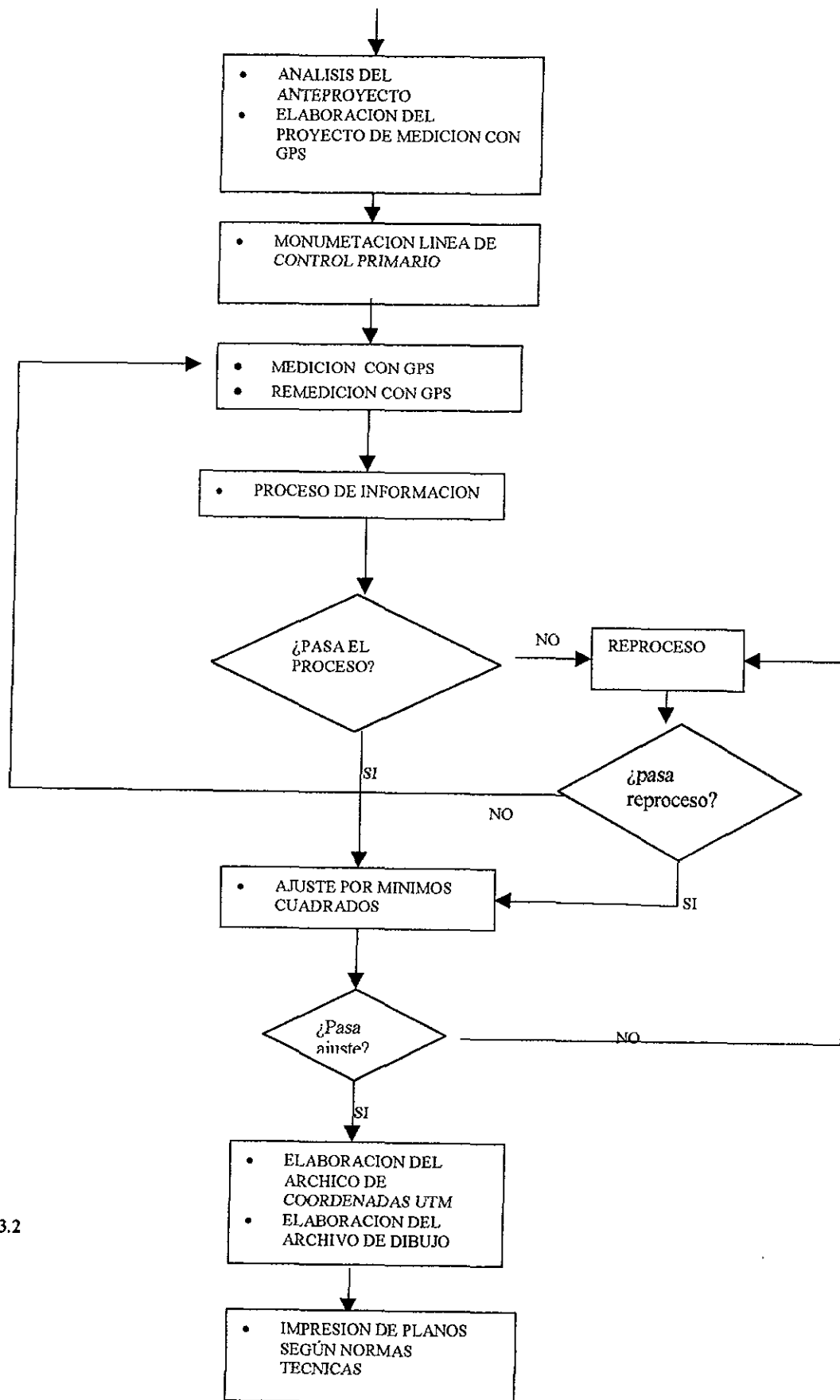


Fig.3.2

El diagrama de flujo muestra sintéticamente todas las etapas involucradas en el levantamiento geodésico con aparatos de recepción de señal satelital. Este diagrama sigue la secuencia como lo marcan las normas técnicas para el PROCEDE (Diario Oficial ... 1992. Op.cit: 33).

a) Reconocimiento de áreas y predios.

Dentro del ejido es ésta la primera tarea que se realiza y consiste básicamente en recorrer el ejido con los ejidatarios, haciendo un levantamiento topográfico con brújula a pasos o cinta (si las condiciones del terreno lo permiten). Dependiendo del tamaño del ejido esta etapa puede durar de uno a varios meses. Partiendo de un conocimiento detallado del ejido es posible elaborar un proyecto de medición donde se integran los siguientes documentos:

- Documentación cartográfica básica; carta topográfica donde aparecen los polígonos que conforman el ejido, croquis a mano alzada del ejido y planos según la resolución presidencial.
- Documentación legal; incluye toda la documentación legal que posea el ejido.
- Una ficha geográfica: donde se describen los principales rasgos topográficos, climáticos y de vegetación; se hace un cálculo aproximado del tamaño y dispersión de los predios, se dibuja la distribución de las vías de comunicación (si las hay), así como la localización de los principales poblados.

Esta información geográfica es básica para elaborar el proyecto de medición, diseñar la planeación del levantamiento, definir las estrategias de medición.

b) Monumentación de la línea de control primaria: esta tarea sigue los lineamientos de las normas técnicas (Diario Oficial... 1992. Ibidem: 34).

Al medir las tierras ejidales se está actualizando cartográficamente el 50 por ciento del territorio nacional aproximadamente, además se está densificando la red geodésica primaria a nivel del territorio nacional. Por tal motivo, las líneas de control básico de cada ejido necesitan que sus puntos sean monumentados con material que garantice solidez y estabilidad, para que en proyectos

de ingeniería de precisión o hidrológica puedan ser utilizadas sus coordenadas geográficas. Los detalles sobre los requerimientos de los monumentos vienen desarrollados en las normas técnicas (Diario Oficial...1992: 33-34). Para respetar los lineamientos de dichas normas, las líneas de control primario se establecen bajo los siguientes criterios: los puntos que la conforman deben ser preferentemente intervisibles, estar monumentados, deben tener una distancia mínima entre ellos de 500 metros, y deben estar ligados cuando menos a una estación de la red geodésica nacional activa.

### **3.5 Planeación del levantamiento con GPS**

#### **3.5.1 Integración del proyecto de medición**

Como vemos abajo, el proyecto de medición es un archivo de documentos recopilados en campo, que ésta constituido de tres partes; una de las cuales integra el expediente con cartografía del ejido, en otra la documentación legal, y la última donde se desarrolla una pequeña monografía describiendo las condiciones geográficas del ejido. El objetivo de estos documentos es poder utilizarlos como instrumentos de planeación para los levantamientos geodésicos.

Documentación básica:

✓ Carta topográfica con información predial

✓ Croquis de las tierras ejidales

Documentación legal:

Formato de validación de la carpeta básica (resolución presidencial, planos generales del ejido, (actas de posesión y deslinde)

Información básica de los órganos ejidales y sujetos con derechos

Información geográfica complementaria

✓ Topografía del terreno

✓ Uso del suelo y vegetación incluyendo cultivos y el grado de crecimiento

✓ Vías de comunicación y transporte dentro del ejido.

✓ Número de localidades describiendo la infraestructura para el posible uso de viviendas y energía eléctrica por parte de las brigadas.

✓ Tamaño, concentración y dispersión de los predios.

### 3.5.2 Análisis del anteproyecto

Con el proyecto de medición tenemos la posibilidad de planear los procedimientos y estrategia de medición con los posicionadores GPS. Como parte del análisis del proyecto se deben tener en cuenta los siguientes criterios:

⌘ Contabilizar el número de polígonos, áreas, parcelas y solares a medir.

⌘ Contabilizar el número de vértices según el número de áreas.

⌘ Diferenciar las áreas según sus condiciones geográficas; distinguiendo aquellas con condiciones adversas para el desarrollo del levantamiento.

⌘ Ponderar las cargas de trabajo en función de las condiciones geográficas.

⌘ Ubicar las localidades donde hay mayor disposición para apoyar los operativos.

⌘ Programar las cargas de trabajo y estimar los tiempos para cada etapa del operativo.

### 3.5.3 Planeación del levantamiento

Paralelamente con el análisis del proyecto se realiza la planeación del levantamiento. Donde también se involucra la administración de los recursos humanos y financieros necesarios para desarrollar los operativos de campo. Aquí vamos a considerar los siguientes aspectos:

Estimación de recursos humanos y materiales.

✓ Número de brigadas y personal necesario para el operativo.

✓ Número de equipos, materiales y vehículos que necesitaran las brigadas.

✓ Número de guías ejidatarios que conozcan el ejido.

Estimación de recursos financieros.

✓ Estimación de nómina y gastos de campo de las brigadas.

- ✓ Estimación de gastos de combustible e imprevistos.
- ✓ Estimación de gastos de monumentación.
- Evaluación de las condiciones geográficas del ejido
- ✓ Localización de áreas con mayor concentración de vértices y mayor cercanía entre ellos.
- ✓ Localización de áreas con mayor dispersión de vértices y mayor distancia entre ellos.
- ✓ Localización de áreas con mayor vegetación y bosque que dificulten las maniobras y el acceso a las áreas
- Planeación de la misión (MISSION PLANNING)
- ✓ Por medio del programa de cómputo MISSION PLANNING escogemos los mejores horarios para medir
- ✓ Seleccionar los espacios de tiempo con mejor geometría satelital, mayor número de satélites disponibles.

#### 4.5.4 Estrategias de medición

Las estrategias de medición están directamente relacionadas con el tipo de vértice que se desea medir, la precisión que exijan las normas técnicas del levantamiento; el número de equipos, personal, vehículos, guías con que se cuente. Los distintos lineamientos del INEGI proporcionan varias guías para definir una determinada estrategia de acuerdo al vértice (INEGI 1996. *Metodología para la medición de puntos de Apoyo Terrestre: 17-20*) (INEGI 1996. *Manual de la brigada de Geodesia: 38*).

ESTRATEGIA DE MEDICION DE VERTICES DE CONTROL GPS, AEREOTRIANGULACION, PRECISION							
TIPO DE VER.	EQUIPO		METODO DE ME	PARAMETROS	TIEMPO DE SESI	PROGRAMA DE	PRECISION
	TIPC	No.					
GPS AEREOTR. PRECISION	PXII	2	ESTATICO	INT. REG. 15 MIN. SAT. 4 MAS.ELEV. 15	1 A 3 HORAS	GPPS <sup>1</sup>	1 : 50 000

Tabla 3.3

<sup>1</sup> GPPS Geodesic Prost- Processing Software (Software de pos proceso geodesico).

ESTRATEGIA DE MEDICION DE VERTICES PERIMETRALES							
TIPO DE VER.	EQUIPO		METODO DE M	PARAMETROS	TIEMPO DE SE	PROGRAMA DE	PRECISION
	TIPO	No.					
PERIMETRO	PXII ZX DIME	3	ESTATICO ESTATICO-RAI	INT. REG. 5, 15 MIN. SAT. 4, 5 MAS. ELEV. 10, 15	5 MINUTOS 30 MINUTOS	GPPS PNAV <sup>2</sup>	1 : 20 000

Tabla 3.4

ESTRATEGIA DE MEDICION DE VERTICES DE PARCELA Y SOLARES							
TIPO DE VER.	EQUIPO		METODO DE MEDICION	PARAMETROS	TIEMPO DE SE	PROGRAMA DE C	PRECISION
	TIPO	No.					
PARCELA SOLAR	PXII ZXII DIME	3	ESTATICO ESTATICO- RAP CINEMATICO	INT. REG. 5, 15 MIN. SAT. 4, 5 MÁS. ELEV. 10, 15	2 MINUTOS 5 MINUTOS 30 MINUTOS	GPPS PNAV	1 : 10 000

Tabla 3.5

### 3.6 Métodos de medición con equipo posicionador GPS

#### 3.6.1 Método Estático

Son todas aquellas sesiones que duran como mínimo 30 minutos en un vértice de cualquier tipo de área. Durante ese tiempo se busca mantener fija la señal de cuando menos cuatro satélites en la banda de 19.0294 cm (L1). Para procesarse con el programa GPPS, también puede utilizarse un equipo que capte la señal del código de acceso restringido (CA) en L1. Tabla 3.6

<sup>2</sup> PNAV Precise Navigation (Navegación precisa).

METODO ESTATICO	
Parámetros para programar el receptor	Intervalo de registro 15
	Mínimo de satélites 4
	Mascara de elevación 15
Tiempo de sesión por vértice	30 minutos para vértices de perímetro, parcelas, solar, gran área y área especial.
	1 hora para vértices de control azimutal, apoyo terrestre o puntos de precisión y que estén ligados a una línea de control
	3 horas para vértices de control azimutal, apoyo terrestre ligados a una estación de la red geodésica nacional activa
Tipo de señal recibida y equipo	L1 banda de radio frecuencia de 1227.6 MHZ. Receptor DIMENSION, PXII Y ZXII L2 banda de radio con frecuencia de 1534.5 MHZ. Receptor PXII Y ZXII
Tipo de programa de computo	GPPS modo de proceso 1 para sesiones de 30 minutos y una hora en vectores de menos de 20m kilómetros. Modo de proceso 3 para sesiones de 3 horas en vectores de más de 20m kilómetros. Algoritmo LINECOMP 1
Tipo de vértice y procedimiento	Perímetro, precisión, parcela, solar, especial, apoyo terrestre, de control.

Tabla 3.6

### 3.6.2 Método estático – rápido tradicional

Este método es muy similar al método estático tanto en el levantamiento como en el procesamiento, para ejecutarlo se requieren equipos posicionadores del GPS con código P activado (Tabla 4.7). El tiempo de posicionamiento dependerá de la longitud de línea que se desea medir. La medición se realiza en sesiones programadas o abiertas en tiempos comunes entre los receptores fijos y los móviles

METODO ESTATICO RAPIDO TRADICIONAL	
Parámetros para programar el receptor	Intervalo de registro 10
	Mínimo de satélites 4
	Mascara de elevación 15
Tiempo de sesión por vértice	De 10 a 20 minutos según la distancia del vector
Tipo de señal recibida y equipo	Código P en L1 Y L2 equipo ZXII
Tipo de programa de cómputo	GPPS modo de proceso 6. Algoritmo LINECOMP 2 con corrección ionosférica.
Tipo de vértice y procedimiento	Perímetro, parcela, solar. Vectores de 5 kilómetros se sesionará por 10 minutos y por cada kilometro adicional se incrementa dos minutos hasta los 10 kilómetros

Tabla 3. 7



### 3.6.3 Método Cinemático Tradicional

Es el mas rápido de los levantamientos con posicionador del GPS, pero también exige una mayor calidad en la colección de datos, porque debe evitarse la pérdida de señal de los satélites y resolver las ambigüedades rápidamente.

Este método tiene tres variantes:

- ✓ Inicialización a partir de una línea base conocida.
- ✓ Iniciación por intercambio de antena (SWAP).
- ✓ Inicialización estática de 30 minutos como mínimo.

Cuando se utilice equipo DIMENSION, el inicio y cierre será de 10 minutos, con equipo PXII será de 5 minutos de inicio u cierre.

CINEMATICO TRADICIONAL	
Parámetros para programar el receptor	Intervalo de registro 10
	Mínimo de satélites 4
	Mascara de elevación 15
Tiempo de sesión en el vértice	Inicio de 5 minutos con PXII, 10 minutos con DIMENSION. vértice.
Tipo de señal recibida y equipo	Código C/A en L1 en DIMENSION. Código P en L1 y L2 en ZXII
Tipo de programa de cómputo	GPPS, en opción cinemática de proceso.
Tipo de vértice y procedimiento	Perímetro, parcela, solares, grandes áreas. El inicio es en un punto de coordenadas conocidas con 5 minutos en equipo PXII o 10 minutos con DIMENSION. En coordenadas desconocidas son 10 minutos para PXII y 10 minutos con DIMENSION. Si hay pérdida de señal en el recorrido se regresa al punto anterior se reinicia con 5 o 10 minutos según el equipo

Tabla 3. 8

### 3.6.4 Método Pseudo - Cinemático

Este método tiene una gran similitud con el cinemático. Para poder utilizarlo se necesitan dos equipos como mínimo y se inicia en un vértice de coordenadas desconocidas. Cada vértice debe ser posesionado 5 minutos en dos ocasiones. Entre sesión y sesión debe pasar cuando menos una hora, y debe mantener enganchados cuatro satélites comunes durante las dos visitas.

PSEUDOCINEMATICO	
Parámetros para programar el receptor.	Intervalo de registro 10
	Mínimo de satélites 4.
	Parámetros para programar el receptor.
Tiempo de sesión en el vértice.	5 minutos de inicio y 5 minutos por vértice.
Tipo de señal recibida y equipo.	L1 y L2 manteniendo enganchados 4 satélites comunes durante una hora .
Tipo de programa de cómputo	GPPS, en opción pseudo cinemática.
Tipo de vértice y procedimiento	Perímetro, parcela, solares, grandes áreas. Todos los vértices serán medidos dos veces por el mismo receptor, la segunda visita será cuando menos una hora después de la primera.

Tabla 3.9

### 3.6.5 Método Cinemático PNAV (OTF) (INEGI. 1996 Instructivo de Procesamiento de Información geodésica:35-36)

El procedimiento operativo para realizar este método es muy similar al utilizado en el cinemático tradicional; sin embargo tiene ventajas que lo diferencian de aquel:

Si se pierde la señal en el traslado entre los puntos, se avanza al siguiente y se le da un tiempo (5 minutos) como si fuera a iniciar el levantamiento.

Resuelve las ambigüedades durante los traslados.

No requiere iniciar en un punto de coordenadas conocidas.

CINEMATICO PNAV	
Parámetros para programar en el receptor	Intervalo de registro 5
	Mínimo de satélites 6
	Mascara de elevación 10

Tiempo de sesión en el vértice	5 minutos de inicio y 2 por vértice
Tipo de señal recibida y equipo	Código C/A, Código P en L1 y L2, PXII, ZXII, DIMENSION
Tipo de programa de cómputo	PNAV, Algoritmo LINECOMP
Tipo de vértice y procedimiento	Perímetro, parcelas, solares, grandes áreas. Inicio en punto de coordenadas conocidas 5 minutos con ZXII y 10 minutos con DIMENSION. Inicio en sitio con coordenadas desconocidas 5 minutos con ZXII y 30 minutos con DIMENSION. Durante el traslado si hay pérdida de señal sesionar el vértice siguiente y dar tiempo como si fuera sitio con coordenadas desconocidas.

Tabla 3.10

### 3.6.6 Método Estático Rápido (PNAV)

El receptor necesita tener activado el código P en L1 y L2, el tiempo de cada sesión es de 5 minutos por vértice y se puede realizar de dos maneras:

Grabando información en el traslado.

No grabando información en los traslados.

ESTATICO RAPIDO PNAV	
Parámetros para programar el receptor	Intervalo de registro 5 segundos
	Mínimo de satélites 5
	Mascara de elevación 10 grados
Tiempo de sesión en el vértice	5 minutos por vértice
Tipo de señal recibida y equipo	Código P en banda L1 y L2
Tipo de programa de cómputo	PNAV algoritmo PNAV
Tipo de vértice y procedimiento	Perímetro, parcela, solar, gran área. En vectores de menos de 10 kilómetros las sesiones por vértice son de 5 minutos, en vectores de 10 a 20 kilómetros sesiones de 5 a 20 minutos según la calidad de información recibida.

Tabla 3.11

## 3.7 Tipo de receptor y sus características

### 3.7.1 Equipo posicionador del GPS antena receptor DIMENSION (fig.3.3)

Como lo muestra la figura 3, este tipo de aparato posicionador GPS es antena receptor, es decir, en un disco plano de material sintético se contiene un oscilador reproductor de la señal, un dispositivo

electrónico de memoria para almacenar la información, la comunicación externa la realiza con una libreta (CMT) con funciones para programar la antena receptor. Este equipo también cuenta con discos de poder para que funcione el mecanismo electrónico sin necesidad de energía eléctrica. El tipo de señal que recibe es el código S ó C/A (ESTÁNDAR POSITIONING SERVICE - código de acceso restringido) y puede enganchar varios satélites a la vez en distinto canal independiente, cada uno modulado sobre la frecuencia L1. El período de inestabilidad para fijar la señal satelital es de aproximadamente 10 minutos, después de este período la recepción de la señal se mantiene regularmente estable. La capacidad de almacenaje de datos es de aproximadamente 3 MEGABITES.<sup>3</sup>

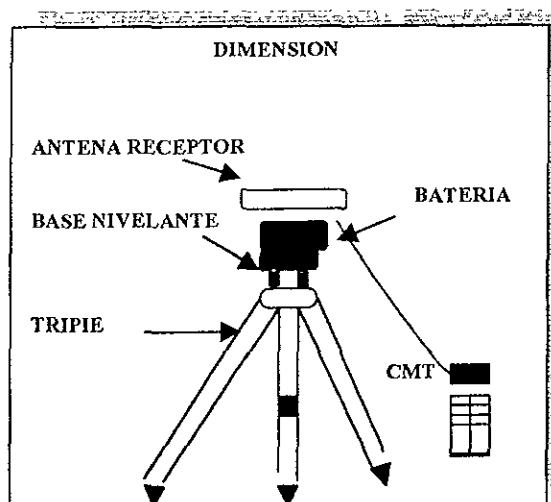


Fig.3.3

<sup>3</sup> Un bit equivale a un carácter o espacio en la memoria de un ordenador. Carballar, José A. Software y Hardware de su PC. Addison-

### 3.7.2 Equipo posicionador del GPS receptor P12 Y Z12 con antena SWAP polarizada (Fig. 3.4)

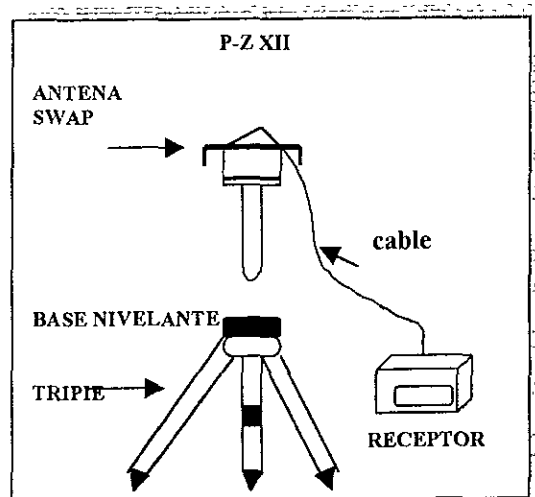


Fig.3.4

El receptor P12 utiliza los datos radiodifundidos por el satélite con el código C/A, mensaje de navegación y la frecuencia portadora en L1. Tiene doce canales de recepción de señal, cada uno independiente para cada satélite. Esta característica le permite tener registros de señal muy limpios. El canal de recepción utiliza un circuito de retardo para mantener la alineación entre la réplica del código C/A generada en el receptor y el código que está recibiendo del satélite (Caturra Sánchez, N. 1988. *Sistema de Posicionamiento Global*: 11). Además del dispositivo electrónico del oscilador el receptor cuenta con una tarjeta electrónica de memoria para almacenar los parámetros de funcionamiento del equipo (chip de memoria ROM<sup>4</sup>); y otra para comunicarse con el operador, almacenar la información de la señal de los satélites (chip de memoria RAM<sup>5</sup>). El total de memoria disponible por receptor es de aproximadamente 5 MEGABITES (Carballar, José A.1994 *Software y Hardware de suPC*:17).

<sup>4</sup> Read Only Memory (Memoria de solo lectura)

<sup>5</sup> RANDOM ACCESS MEMORY (Memoria de acceso disponible) Ibídem. 18

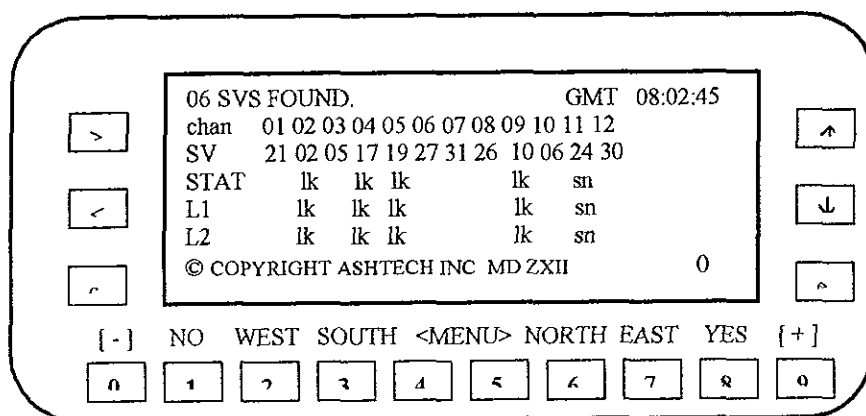
La diferencia fundamental entre los receptores P12y Z12 es que el segundo cuenta con una tarjeta y un dispositivo en el oscilador que permite detectar la correlación de impulsos que prueban la presencia del código P<sup>6</sup> y su modulación en las frecuencias L1 y L2. Esto es importante porque con el código P activado en ambas frecuencias es posible procesar la información en ambas bandas (método estático rápido). Salvo estas diferencias ambos receptores tienen las mismas características. Este receptor despliega 13 presentaciones donde se puede seguir e introducir los parámetros para medir un sitio como se explica a continuación desde el punto de vista práctico.

Cuando se realiza un levantamiento geodésico con equipo P12 es fundamental revisar la calidad de la señal que se recibe del satélite. Si no se revisa la información es posible que la misión fracase y la medición no alcance los estándares de calidad demandados.

### 3.8 Pantallas del posicionador del GPS Z12 (INEGI. 1996...104)

#### Pantalla 0. Información de búsqueda en el cielo

En ésta se despliega la condición de cómo el receptor está sintonizando en cada canal la señal de los satélites en el cielo. Cuando los rastrea aparece en la columna del canal (chan) la clave del



Pantalla 0

<sup>6</sup> Código de posicionamiento preciso.

satélite SV (space vehicckle)<sup>7</sup> y SN (signal noise)<sup>8</sup>, cuando los sintoniza bien lk (link)<sup>9</sup>.

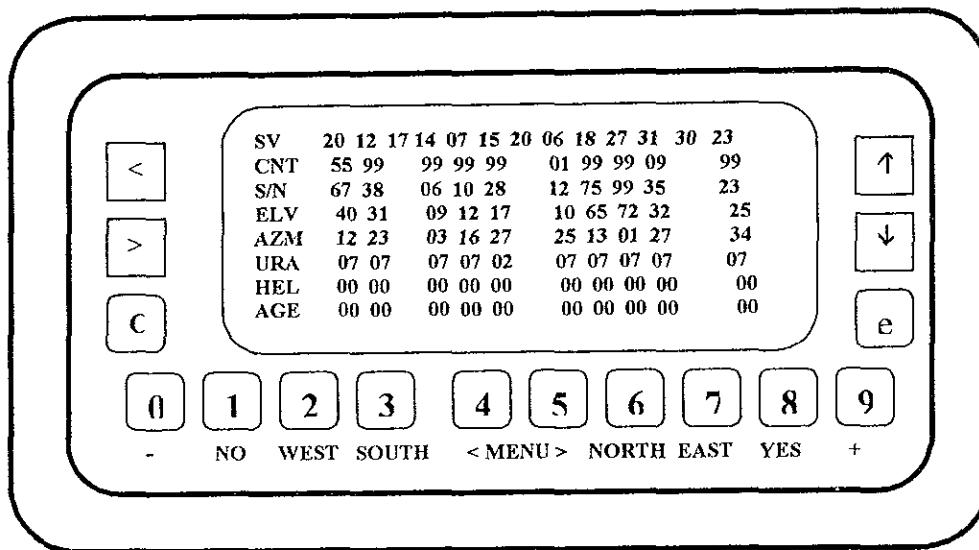
### Pantalla 1. Información orbital

① En el primer renglón aparece el número de satélites (SV) enganchados con su clave numérica. SV

20 10 13

① En el segundo renglón el contador de ciclos de la señal recibida del satélite, tiene un rango de valores que van de 0 para las señales con saltos de ciclo o pérdida de señal, hasta el 99 cuando se estabiliza el número de ciclos y se pueden calcular desde el receptor.

① El tercer renglón indica la calidad de la señal recibida (S/N)



Pantalla No.1

① De 0 a 10 indica una señal débil y distorsionada (mala). Normalmente la señal de los satélites dentro de este rango causa problemas durante el proceso y se tienen que eliminar. Los satélites con elevaciones sobre el horizonte de 0 a 10 grados presentan este tipo de señal; por eso en métodos

<sup>7</sup> SV Space Vehicckle (vehículo espacial)

<sup>8</sup> Señal ruido (SIGNAL NOISE). PRN Pseudo Random Noise es una secuencia binaria de 1 y 0 que es captada como ruido, pero que puede ser exactamente reproducido. Los códigos PNR tienen la importante propiedad de autoregular su secuencia para cualquier retraso o marca de tiempo. Cada satélite tiene su código Pseudo Random Noise C/A o P

como el estático rápido, donde requiere la señal nítida del código P y en las dos frecuencias, se programa al receptor para que no grave información de satélites que tienen dicha elevación.

① De 10 a 30 indica una señal débil, pero estable, lo que permite al receptor calcular el número de ciclos enteros y por tanto fijar la posición del satélite. Frecuentemente satélites con elevaciones sobre el horizonte de 10 a 30 grados (buena).

① De 30 a 99 indica una buena señal con estabilidad y proveniente de satélites que tienen la mejor elevación sobre el horizonte, normalmente arriba de 30 grados (la mejor).

① El siguiente renglón indica la elevación del satélite sobre el horizonte, hay una relación inversamente proporcional entre la elevación de un satélite y la calidad de la señal. A mayor elevación, mejor señal y mayor estabilidad.

① Después viene el acimut de cada satélite con respecto a la posición del punto, para saber el acimut de un determinado satélite es necesario multiplicar la cifra de la pantalla por 10.

① URA es la exactitud del rango. Cuando su valor es más próximo a 0 tiene una exactitud alta y un valor mayor de 8 indica una exactitud baja.

① HEL es un indicador de la condición general del satélite, 0 indica buena salud, 3c indica que el satélite está temporalmente fuera de servicio y la información puede ser poco confiable.

① AGE indica el tiempo que fue pasando desde que se perdió contacto con el satélite.

## **Pantalla 2. Información de navegación.**

② En esta pantalla no se puede modificar ningún dato; sin embargo es importante porque aquí aparecen parámetros importantes como son:

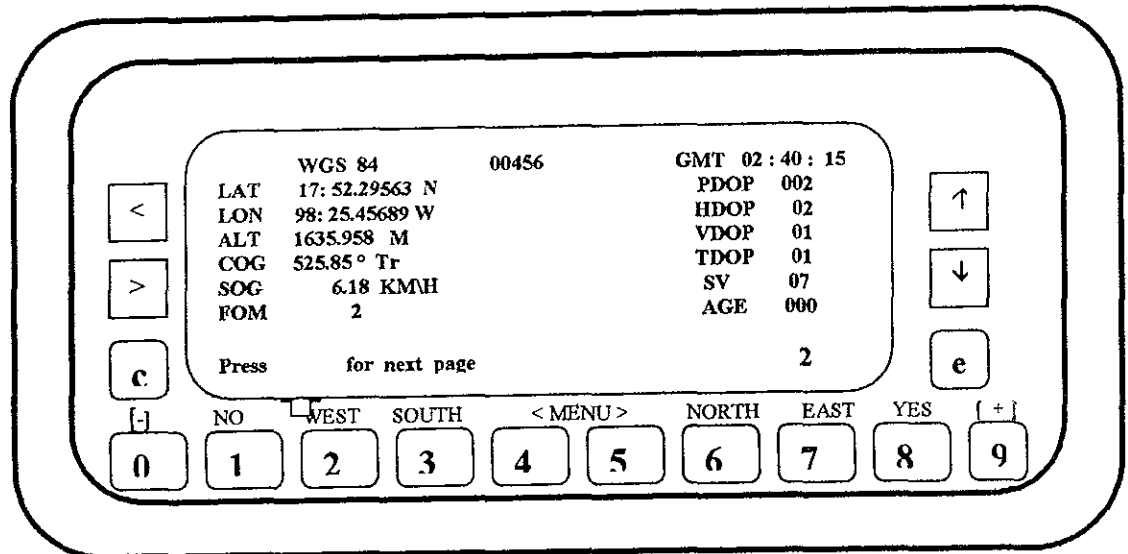
② WGS 84 Sistema geodésico mundial de referencia de 1984 que es al que están referidas las coordenadas de los satélites y de los vértices que se miden.

---

<sup>9</sup> LK Link (engancha)



- ② En el primer renglón en el centro aparece un contador de señal el cual está íntimamente relacionado con el tiempo que dura encendido el receptor.
- ② Coordenadas geográficas del lugar donde se está midiendo en latitud, longitud y altitud.
- ② Algunos parámetros keplerianos como la velocidad angular, velocidad orbital excentricidad de la órbita del satélite.



Pantalla 2

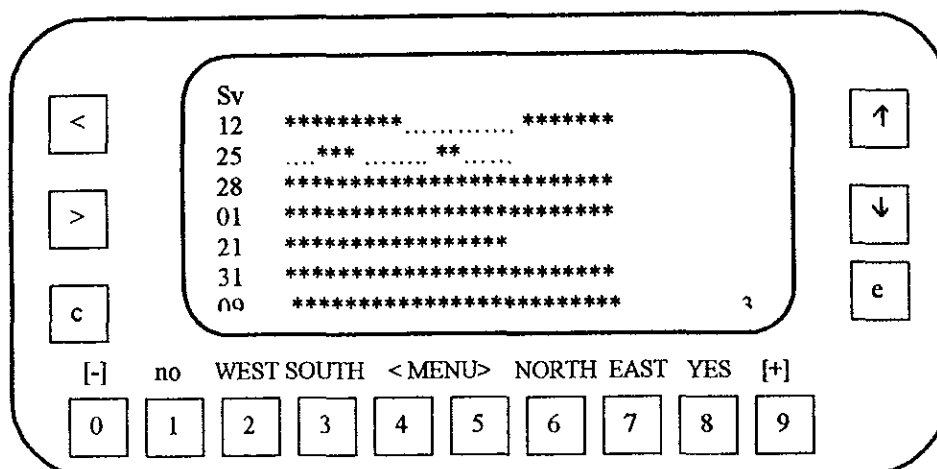
- ② Indicadores de la calidad de la configuración espacial de los satélites en el momento de realizar la medición y son los siguientes:
  - ② PDOP dilución de la precisión por la posición en tres coordenadas X Y Z, si hay buena solución el PDOP estará debajo de 5.
  - ② HDOP dilución de la precisión por la posición en dos coordenadas XY, normalmente da el mismo valor que el anterior.
  - ② VDOP dilución de la precisión por la altitud en la coordenada Z, normalmente tiende a 0.
  - ② TDOP dilución de la precisión por el tiempo T, también su valor tiende a 0.

② Teóricamente, para alcanzar la mayor precisión los valores DOP deben tender a 0, en caso contrario sus valores tienden a incrementarse.

② SVS es el número de satélites que está considerando el receptor para calcular la precisión con los componentes anteriores.

### Pantalla 3. Información de sintonía

③ En esta pantalla se gráfica mediante asteriscos el tiempo que duran sintonizados los satélites. Cuando un satélite no es sintonizado o se pierde la señal deja de registrarse (aparece una línea punteada). Cada asterisco equivale a 5 minutos desde que fue bien sintonizada la señal.



Pantalla 3

### Pantalla 4. Modos de control

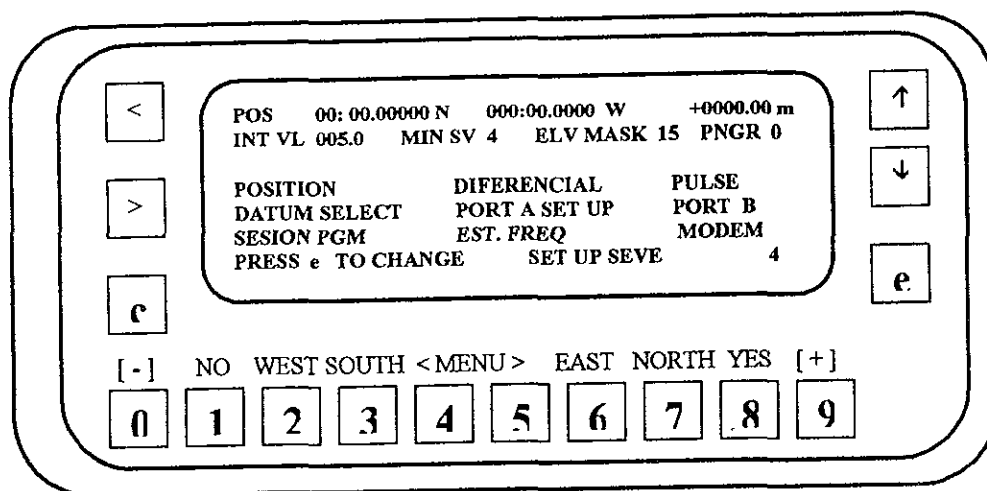
④ En esta pantalla es donde se introducen los parámetros necesarios según el método de levantamiento.

④ INT VL intervalo de registro por ejemplo 15 segundos.

④ MIN SV mínimo de satélites, por ejemplo 4.

④ ELV MASK máscara de elevación 15° sobre el horizonte.

④ Los encabezados corresponden a otras opciones para programar, a través de las cuales es posible



Pantalla 4

programar una ruta de navegación, desactivar el código de recepción, cambiar datum de referencia o ejecutar con, una clave, una función como borrar la información recabada (456), cerrar un archivo (123), verificar la información general del receptor (800), salvar los parámetros programados para que no cambien aunque el receptor se apague (555), volver a los parámetros originales del receptor (550).

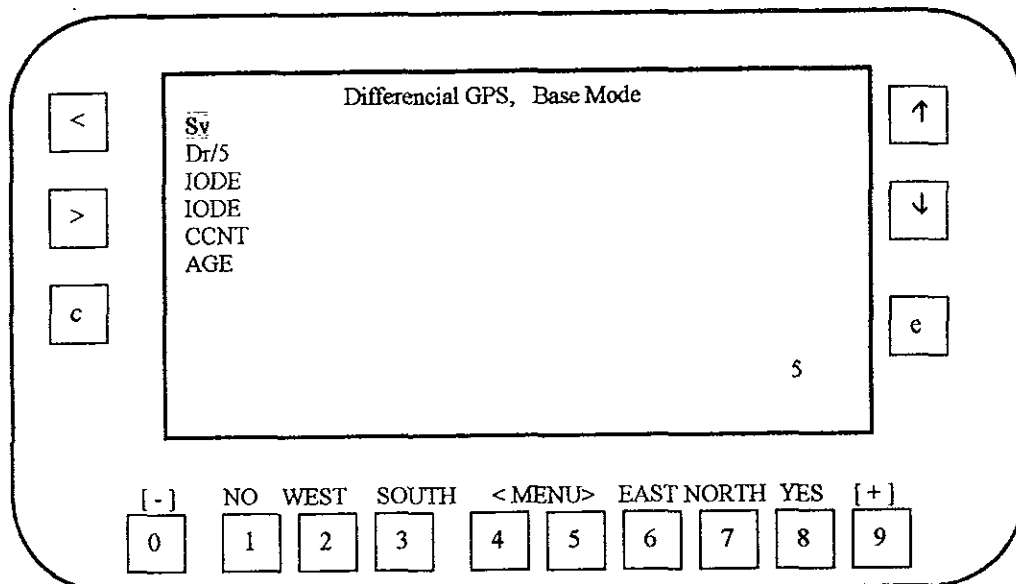
#### **Pantalla 5. Información diferencial** (Ashtech. 1991. *Operating Manual XII*: 42)

⑤ Con esta pantalla se puede seleccionar el modo diferencial de tiempo real. Esto significa que el aparato puede utilizarse como transmisor de mensajes de posición. Para esta opción se utilizan dos aparatos: uno denominado base y el otro remoto.

⑤ SV está referido a la clave del satélite enganchado en la estación que sirve de referencia (base).

⑤ DR/5 corrección diferencial en distancia dividido en 5 rangos. Con éstos se pueden hacer correcciones en el aparato remoto, hasta de un centímetro.

⑤ Información en dígitos de la órbita de los satélites enganchados.



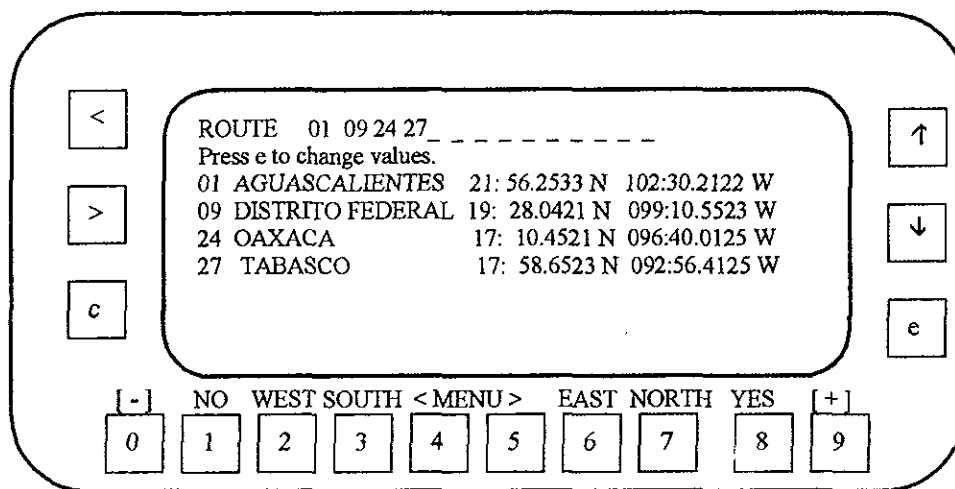
Pantalla 5

⑤ CCNT contador de las medidas de rango en el receptor base, al igual que en la pantalla 1 aquí se registra los saltos de ciclo o pérdida de señal sus valores van de 0 a 99.

⑤ AGE es el número de minutos transcurridos desde que fue registrada la última corrección en modo diferencial.

**Pantalla 6 Control de ruta de navegación (Ashtech... 1991 Ibidem: 48)**

⑥ Esta pantalla despliega la opción de navegación con lo cual se puede programar una ruta de navegación que incluya de uno hasta 99 puntos.



Pantalla 6

⑥ En el primer renglón están las claves de los sitios de ruta. Consta de dos dígitos.

⑥ En los siguientes renglones se editan las coordenadas de los sitios hacia donde se programa la ruta

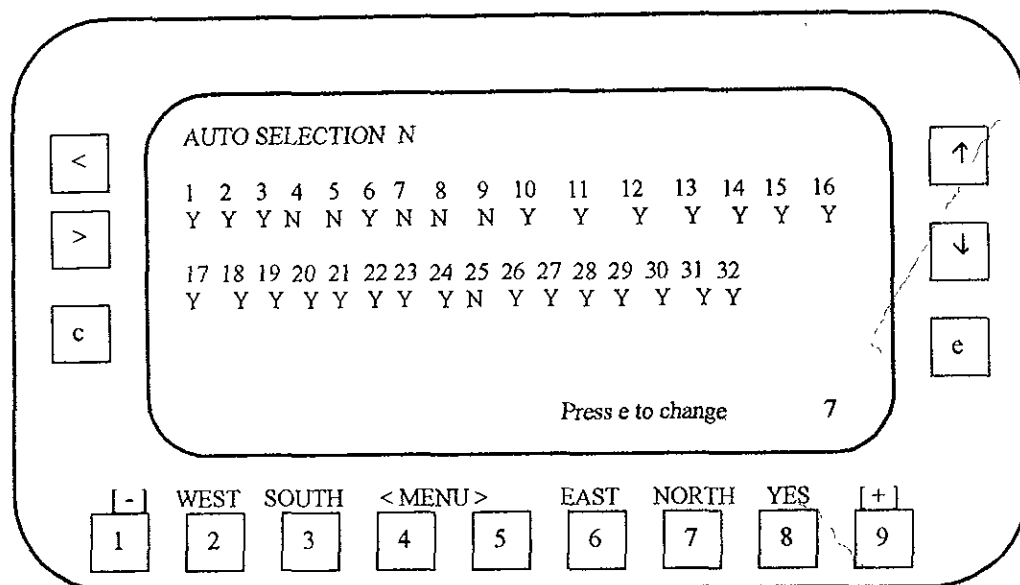
### Pantalla 7 Control en la selección de satélites (Ashtech... 1991. *Ibidem*: 57)

⑦ La pantalla 7 permite seleccionar u omitir un satélite para utilizarlo durante el levantamiento.

⑦ Y significa que el satélite es utilizado

⑦ N significa que el satélite no se utilizará

⑦ Puede utilizarse una selección manual o automática



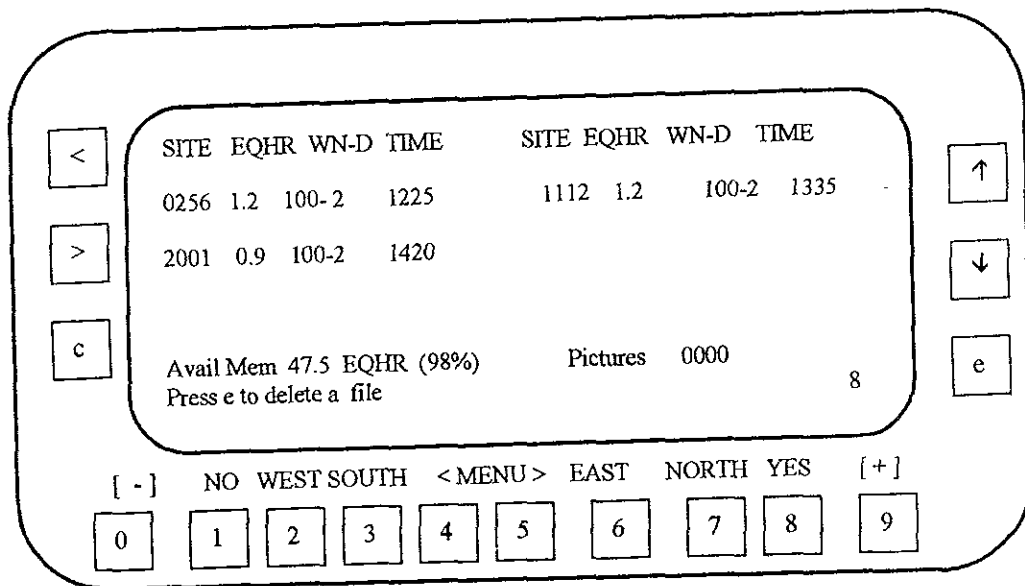
Pantalla 7

⑦ Hay ocasiones cuando se revisa la información orbital y hay satélites que presenta una clave que indica anomalías. Es entonces cuando se utiliza la pantalla 7 para desactivar dicho satélite malo.

### Pantalla 8. Sistema de control (Ashtech... 1991 *Ibidem*: 59)

⑧ En esta pantalla también se pueden utilizar los comandos para programar el aparato y en ella se pueden observar los archivos y su tamaño generados durante una sesión.

⑧ Site es la clave del sitio sesionado, consta de cuatro dígitos.

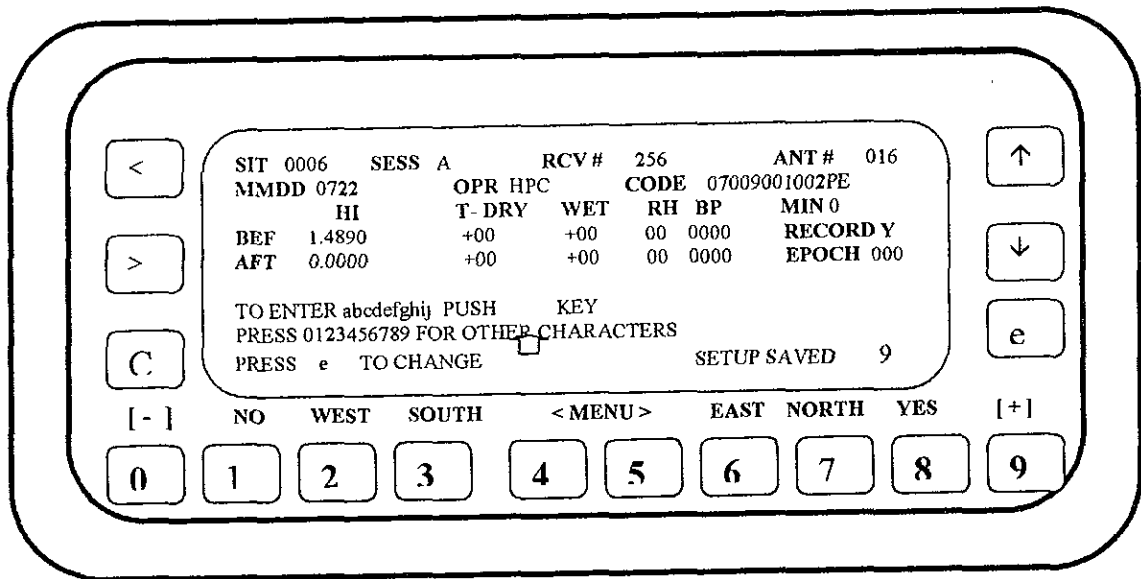


**Pantalla 8**

- ③ EQHR (Equivalent hours) equivalencia en horas, indica qué tanta información ha sido colectada en un archivo.
- ③ **wn** es el número de la semana GPS.
- ③ **D** es el día de la semana 1= domingo; 2= lunes; etc..
- ③ Time reporta el tiempo cuando fue grabada la última época.
- ③ Avail mem (available memory) memoria disponible el equivalente en horas y porcentaje.
- ③ Pictures en aplicaciones fotogramétricos despliega el conteo del número de fotografías tomadas

**Pantalla 9. Control de sitio y sesión**

- ③ En esta pantalla se registran todos los datos referentes al sitio donde se realiza la sesión
- ③ En SITE se registra el número de vértice donde se está sesionando.
- ③ En SESS indica la clave de la sesión a trabajar.
- ③ RCV # registra el número de serie del receptor.
- ③ ANT # registra el número de serie de la antena.
- ③ MMDD señala el día y el mes en que se trabaja.
- ③ OPR introduce las iniciales del operador

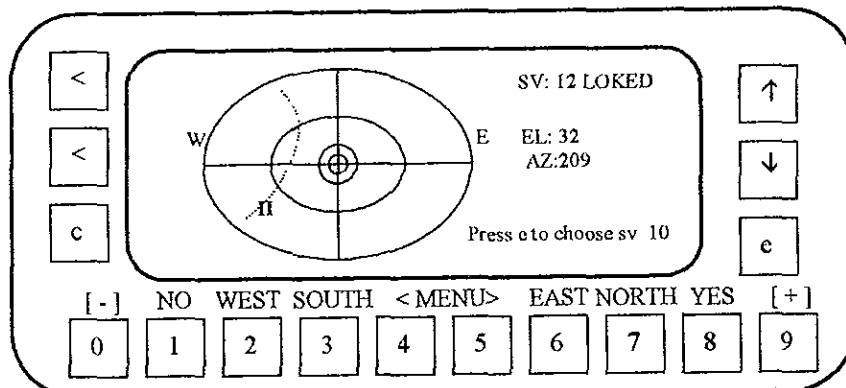


Pantalla 9

- ⑨ CODE registra la clave que identifica el punto, el ejido y el polígono donde se realiza el trabajo.
- ⑨ BEF HI – AFT HI registra la altura inclinada de la antena sobre el tripié.
- ⑨ T-DRY registra la temperatura y presión.
- ⑨ WET RH BP (señala la humedad relativa).
- ⑨ MIN SV programa el número mínimo de satélites para un método de levantamiento
- ⑨ RECORD es una función que le indica al receptor que grave (Y) o no (N) durante los movimientos del equipo.
- ⑨ EPOCH registra el tiempo que debe permanecer el receptor en cada sitio, donde, dependiendo del intervalo de registro, cada época adquiere un valor distinto: por ejemplo en un intervalo de 15 segundos corresponde a una época, y significa que el receptor registrará información únicamente cada 15 segundos, y en un minuto registrará 4 épocas.

### Pantalla 10 Información de los satélites en gráfica.

Ⓣ En esta pantalla se muestra en planta al disponibilidad de satélites en el cielo y sus trayectoria orbitales



Pantalla 10

Ⓣ En la gráfica H representa la posición del satélite y la línea punteada la trayectoria orbital

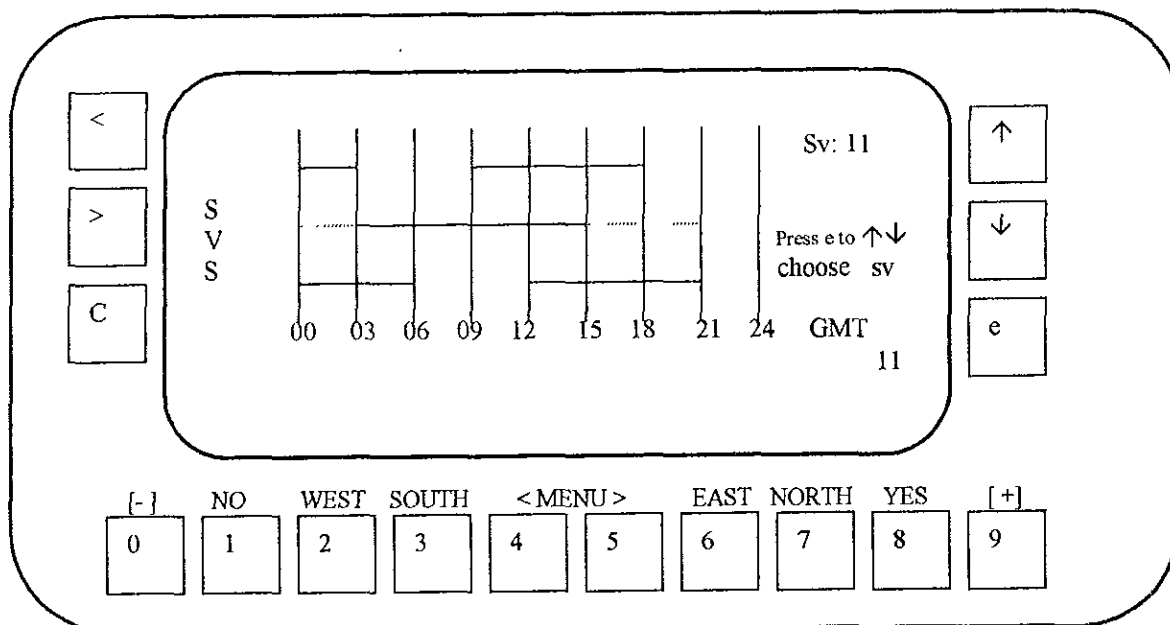
Ⓣ SV looked número del satélite enganchado.

Ⓣ EL y AZ elevación y acimut respectivamente.

### Pantalla 11 Información de visibilidad.

11 En esta pantalla se ve el tiempo que dura un satélite visible en el cielo, la línea continua representa cuando está visible y la línea punteada es el satélite seleccionado.

Pantalla 11

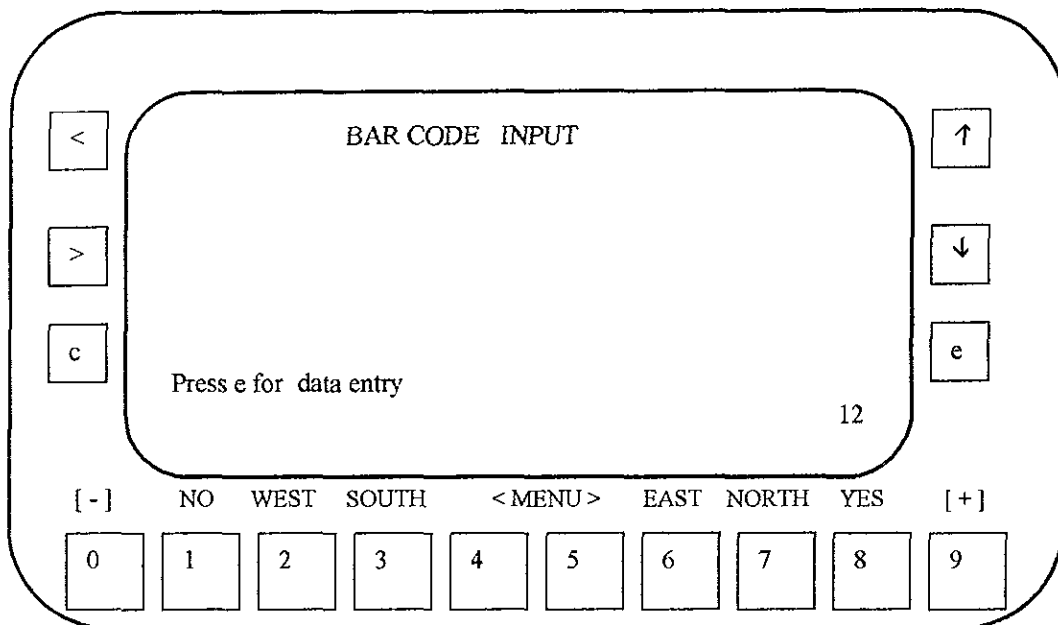




11 Los dígitos de abajo son los intervalos de tiempo en hora GMT.

### **Pantalla 12 Control de código de entrada para teclado o código de lectura**

12 En esta pantalla se permite introducir datos que describan más en detalle un sitio o sistema de información geográfica (GIS). Se pueden introducir un máximo de 80 caracteres combinados.



Pantalla 12

### **3.9 Recepción de datos**

Hacer una medición con equipo del GPS puede parecer sencillo, porque si las condiciones donde se medirá el vértice son adecuadas no se requiere gran esfuerzo y se restringe a ciertos procedimientos prácticos.

- Identificación del vértice.
- Colocación del tripié, la antena y la instalación del equipo con todos sus componentes.
- Encendido e introducción de los parámetros en las pantallas arriba explicadas.
- Registrar datos en una bitácora de campo y revisar la calidad de la señal recibida.

Cualquier persona con un nivel de instrucción de bachillerato puede realizar las operaciones anteriores. Sin embargo, la colección de datos en condiciones topográficas extremas requiere de mayor experiencia, atención y responsabilidad por parte del operador, de lo contrario los resultados en etapas posteriores pueden ser desastrosos y no salir las mediciones.

¿Qué información es archivada en los posicionadores GPS?

Los equipos GPS Z12 que utilizan las brigadas del Distrito Federal almacenan los archivos de datos siguientes:

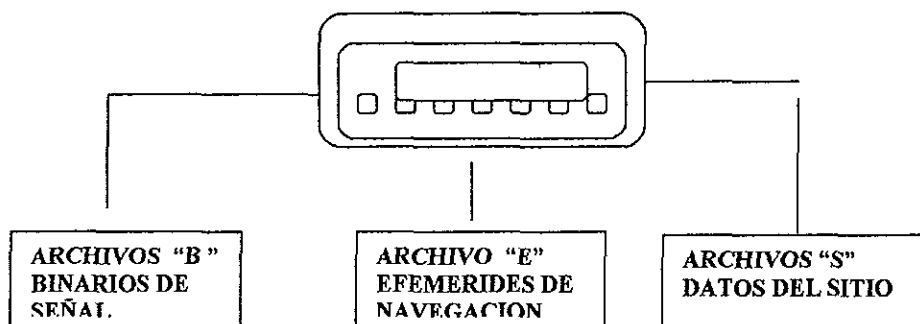


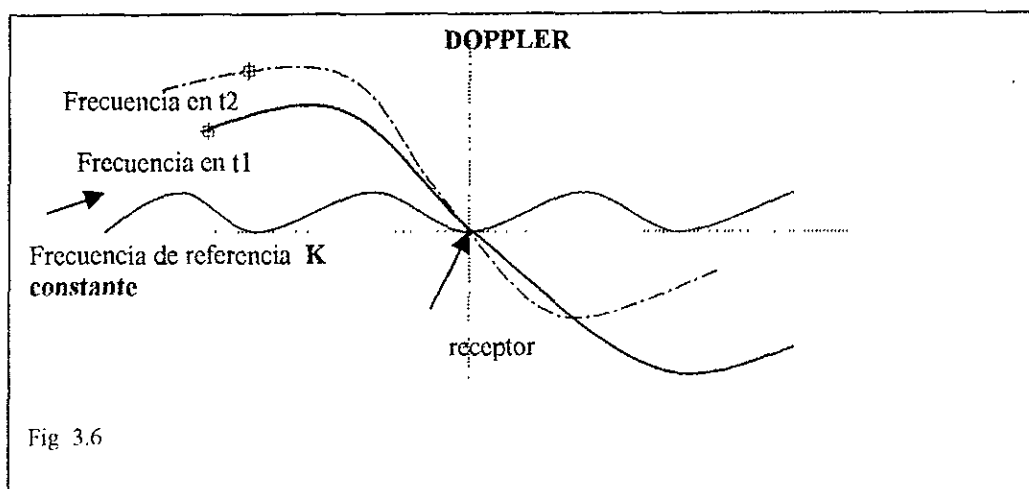
Fig.3. 5

### 3.9.1 Archivo (B) de información binaria de la señal satelital (anexo 1)

Los archivos B (BENDATA FILE) almacenan números binarios codificados que dan información sobre la frecuencia, amplitud de la fase portadora, donde se modula el código P de precisión y el código C/A. En ellos se registra la variación del tiempo para correlacionar una replica del código GPS generado en el posicionador con el código GPS recibido de los satélites. Esto con el objetivo de

calcular la distancia de los satélites en función de la velocidad de la luz al resolver la fórmula  $D = V * T$  (distancia es igual a velocidad por tiempo).

También por medio de números binarios registra la variación DOPPLER, o sea el cambio aparente de la frecuencia de la señal recibida debido a la velocidad del cambio del rango entre el satélite y el receptor según la frecuencia constante (Fig. 3.6).



Para cada satélite archiva su elevación, acimut, y proporciona un valor de intensidad de la señal y el PDOP.

La estructura básica del archivo B registra tres tipos de información (fig.3.7):

- a) Medidas de tiempo del oscilador del satélite y del posicionador por época (información tiempo de navegación).
- b) Medidas de la estructura de la señal recibida en el receptor computando la frecuencia, longitud de onda e intensidad de la fase portadora y la fase de código (información para cada satélite).
- c) Claves y filtros sobre el tipo y la calidad de la información (información para cada satélite).
- d) Cómputo preliminar de la posición de sitio en coordenadas geográficas utilizando la fase de código y pseudorangos (información para cada satélite).

### 3.9.2 Archivos (E) información de las efemérides de los satélites (anexo 1)

Sobre la fase del código y la portadora, el receptor almacena el mensaje de navegación del satélite estructurado en 50 palabras de 30 bits cada una, el tiempo total de duración son 30 segundos. El mensaje está compuesto por cinco submensajes que comprenden lo siguiente:

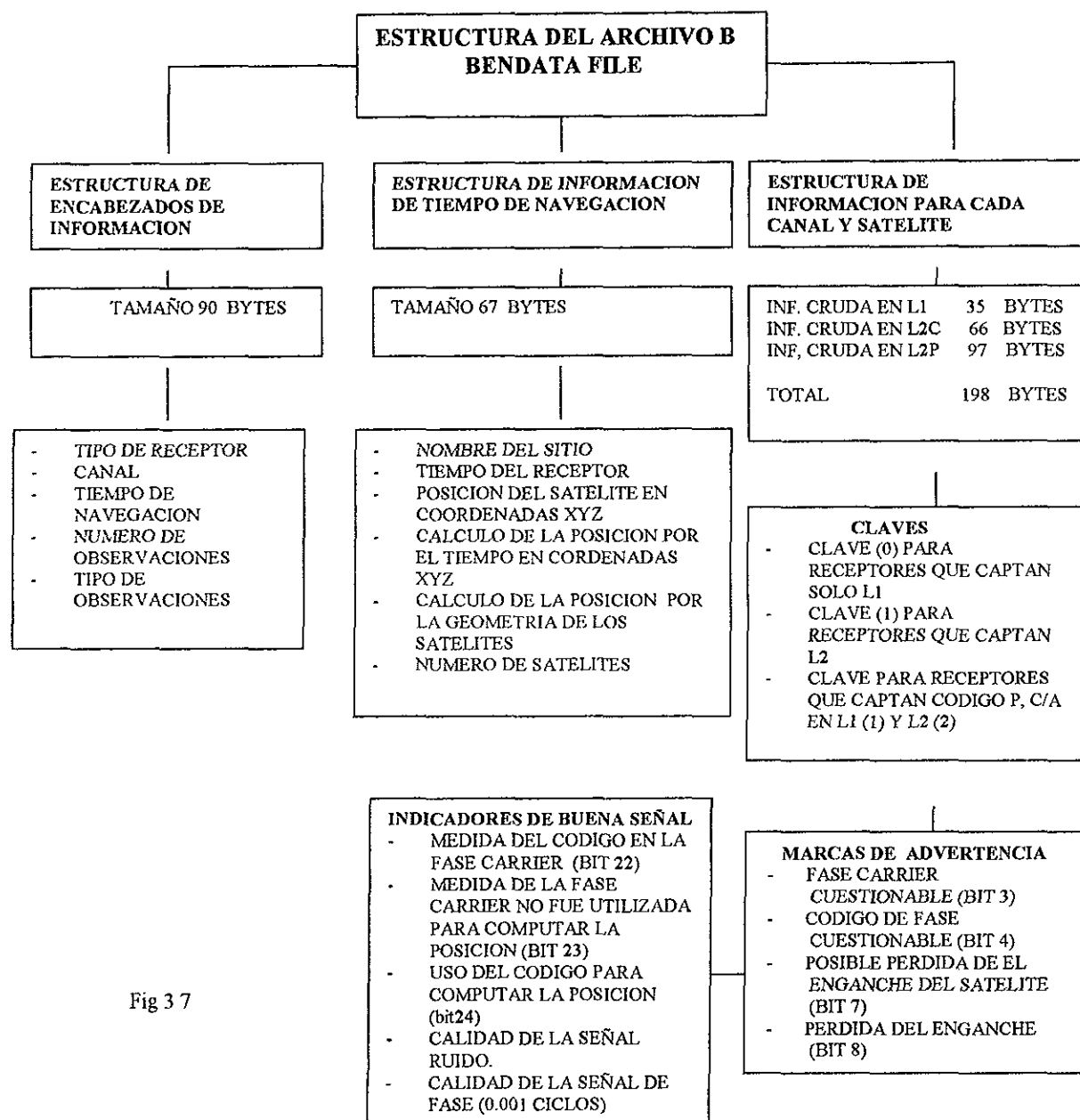


Fig 3 7

- ☐ Submensaje 1, dura 6 segundos y en 300 bits almacena los parámetros de corrección del reloj. Contiene los coeficientes de un modelo para la corrección por retraso ionosférico de la señal.
- ☐ Submensaje 2, dura 6 segundos y contiene en 300 bits las efemérides predichas con los parámetros keplerianos orbitales.
- ☐ Submensaje 3, dura 6 segundos en 300 bits, con las correcciones a los parámetros keplerianos contenidas en las efemérides.
- ☐ Submensaje 4, dura 6 segundos en 300 bits, contienen mensajes alfanuméricos para la navegación y fotogrametría.
- ☐ Submensaje 5, dura 6 segundos en 300 bits y contiene el almanaque de los datos de un satélite.

### 3.9.3 Archivo (S) datos del sitio (anexo 1)

El archivo S en 487 bytes contiene datos de la estación donde se realiza la medición. Son los mismos que se introducen en la pantalla 9 que vimos más arriba.

### 3.10 Ecuaciones generales de observaciones GPS

El posicionador tiene un componente físico (tarjeta de navegación) para resolver varias ecuaciones a través de algoritmos.

Un algoritmo es un planteamiento matemático de programación donde se resuelve un sistema de ecuaciones, generalmente por el sistema de análisis matricial. La secuencia que debe seguir el planteamiento depende del número de incógnitas que se desee resolver y la relación de las variables utilizadas (HADLEY, G. 1962. *LINEAR PROGRAMMING*: 72).

Posteriormente, con los programas GPPS y PNAV se pos procesa la información de los equipos del GPS. Estos programas son algoritmos que procesan la información de efemérides, tiempo, distancia y posición contenida en los archivos BES. Para determinar la calidad de la información colectada éstos utilizan variables de análisis estadístico como la desviación estándar, el error medio cuadrático, rangos de confianza y pruebas como la  $\text{CHI}^2$  (ver 3.9.4, 3.9.5).

### 3.10.1 Ecuación de las ambigüedades (Wells, et.al. 1986, Guide to GPS Positioning: 1)

Una ambigüedad es el número de ciclos enteros desconocidos al reconstruir la fase portadora en una serie de medidas desde un satélite a un posicionador. Consta de tres componentes.

$$\text{ambigüedad} = \alpha_i + \beta_j + N_{ij}$$

$\alpha_i$  es la fracción de fase inicial del receptor.

$\beta_j$  es la fracción de fase inicial en el satélite.

$N_{ij}$  es un sesgo de ciclos enteros en la medición inicial.

Si se resuelven las ambigüedades sabemos a cuántos ciclos por segundo estamos recibiendo la señal; por tanto sabemos la frecuencia y podemos calcular la distancia y el lugar donde se encuentra el satélite.

### 3.10.2 Ecuaciones de pseudorango, tiempo y posición del GPS (ASHTECH. 1992. *GEODETIC AND HYDROGRAPHIC SURVEY: 40*)

$P = \rho + C (dt - dT) + d_{ion} + d_{trop}$ : Esta fórmula es una adecuación de la fórmula física  $D=VT$

$$\Phi = \rho + c (dt - dT) + \lambda N - d_{ion} + d_{trop}$$

$\rho = |r - R|$ ;  $r$  = vector del satélite<sup>10</sup>  $R$  = vector del receptor (es una incógnita donde se desconocen las

coordenadas de sitio);  $\rho$  = pseudo rango (distancia)

$c = 299\,792\,458$  m/s ; velocidad de la luz

$$dt = t_{\text{satélite}} - t_{\text{gps}}^{11}$$

<sup>10</sup> Un vector es una cantidad física que tiene magnitud y dirección, la diferencia de dos vectores es otro vector. El pseudo rango es una magnitud escalar por ser una distancia (magnitud)

<sup>11</sup> El sistema de tiempo GPS constituye una escala de tiempo muy confiable sincronizada con el tiempo universal coordinado (dependiente del Servicio Internacional de Rotación de la Tierra). El GPS, desde la instalación del primer satélite el domingo 6 de febrero de 1980, tiene una diferencia constante de 19 segundos con respecto al Tiempo Atómico Internacional.

$$dt = t_{\text{receptor}} - t_{\text{gps}}$$

$d_{\text{ion}}$ ,  $d_{\text{trop}}$ ; retraso ionosférico y troposférico

$\lambda$  = longitud de onda ( L1 19 cm; L2 24 cm)

N = número inicial de ciclos

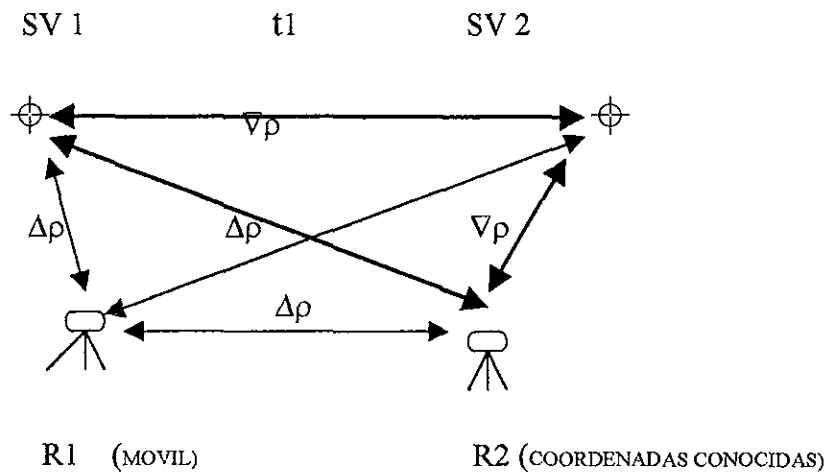


Fig. 3.8

### 3.10.3 Ecuaciones de dobles diferencias entre receptores y satélites (ASHTECH.1992

Ibidem:44)

Solución de la distancia en pseudo rangos  $\nabla \Delta\rho = \nabla\Delta\rho + \nabla\Delta d_{\text{ion}} + \nabla\Delta d_{\text{trop}}$

Solución de tiempo  $\nabla\Delta\Phi = \nabla\Delta\rho + \lambda\nabla\Delta N - \nabla\Delta d_{\text{ion}} + \nabla\Delta d_{\text{trop}}$

Esta ecuación calcula la posición (XYZ) de un sitio R1, en función de dos satélites -SV- y un sitio R2 con coordenadas conocidas recibiendo la señal en un mismo tiempo o época ( $t_1$ ).

En  $t_1 \leftrightarrow \nabla\rho$  se calcula el pseudo rango y el tiempo de los vectores del triángulo R2 SV1 SV2 se corrige el retraso ionosférico y troposférico.

En  $T_1 \leftrightarrow \Delta\rho$  se calcula el pseudo rango y el tiempo de los vectores del triángulo R1 SV1 SV2

### 3.10.4 Ecuaciones de triple diferencia entre receptores, satélites y épocas

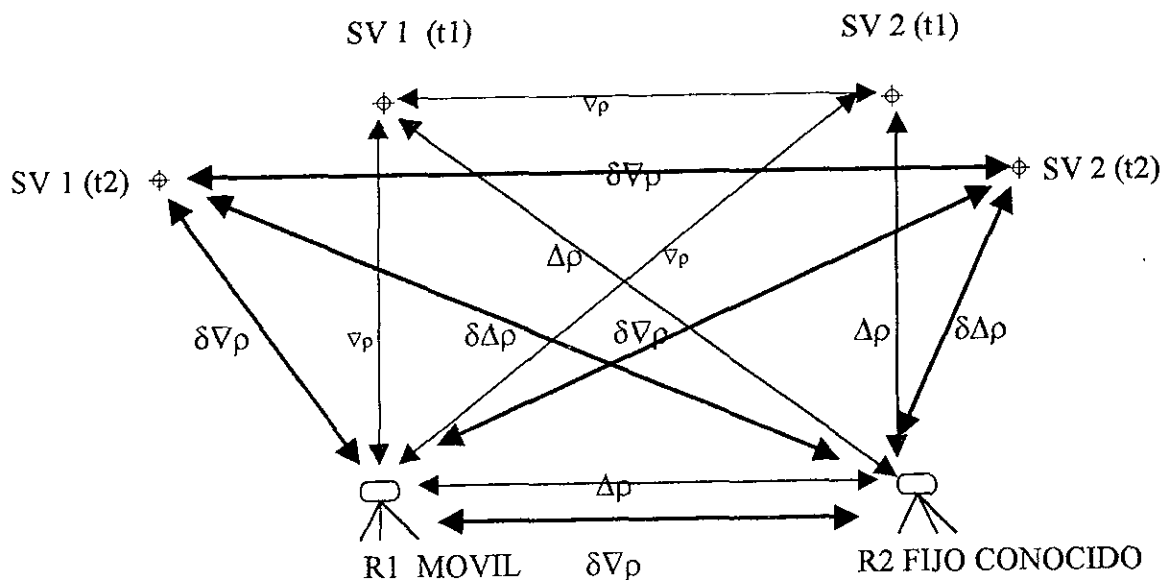


Fig. 3.9

Solución de la distancia en pseudo rangos  $\delta\nabla\Delta\rho = \delta\nabla\Delta\rho + \delta\nabla\Delta\text{dion} + \delta\nabla\Delta\text{dtrop}$

Solución de tiempo  $\delta\nabla\Delta\Phi = \delta\nabla\Delta\rho - \delta\nabla\Delta\text{dion} + \delta\nabla\Delta\text{dtrop}$

En t1 (líneas tenues) se calculan las pseudo distancias y el tiempo para los receptores, se corrigen los retrasos ionosférico y troposférico.

En t2 (líneas fuertes) se repiten los mismos cálculos, pero son comparados contra los cálculos de t1. Las triples diferencias complican la esquematización; sin embargo, lo importante de aquí es entender que en esta ecuación el objetivo es encontrar las coordenadas del sitio R1 móvil, aunque el cálculo es más exigente por los errores de sincronización de los osciladores; pero prácticamente se resuelve el problema de las ambigüedades. Además, ante la pérdida de la señal se determinan posiciones más rápidamente y con mayor redundancia; también se pueden examinar los residuos para buscar discontinuidades en la recepción de la señal.



Las ecuaciones anteriores solucionan la distancia entre dos puntos SV – R, pero aun no se resuelve el problema de la posición del punto desconocido en sus coordenadas. Para ello es necesario introducir otras ecuaciones. La distancia, el tiempo y la velocidad de la luz son sólo parámetros para resolver la posición geométrica de un punto en un sistema de coordenadas ortogonales.

Para determinar la posición de un punto por medio de GPS, es necesario, tomar en cuenta la configuración geométrica de los satélites al tiempo de la medición. El sistema GPS-NAVSTAR es un sistema de cuatro dimensiones, para encontrar la posición de un punto dentro de este sistema es necesario resolver un sistema de ecuaciones con cuatro incógnitas (XYZT) (ver cap. II).

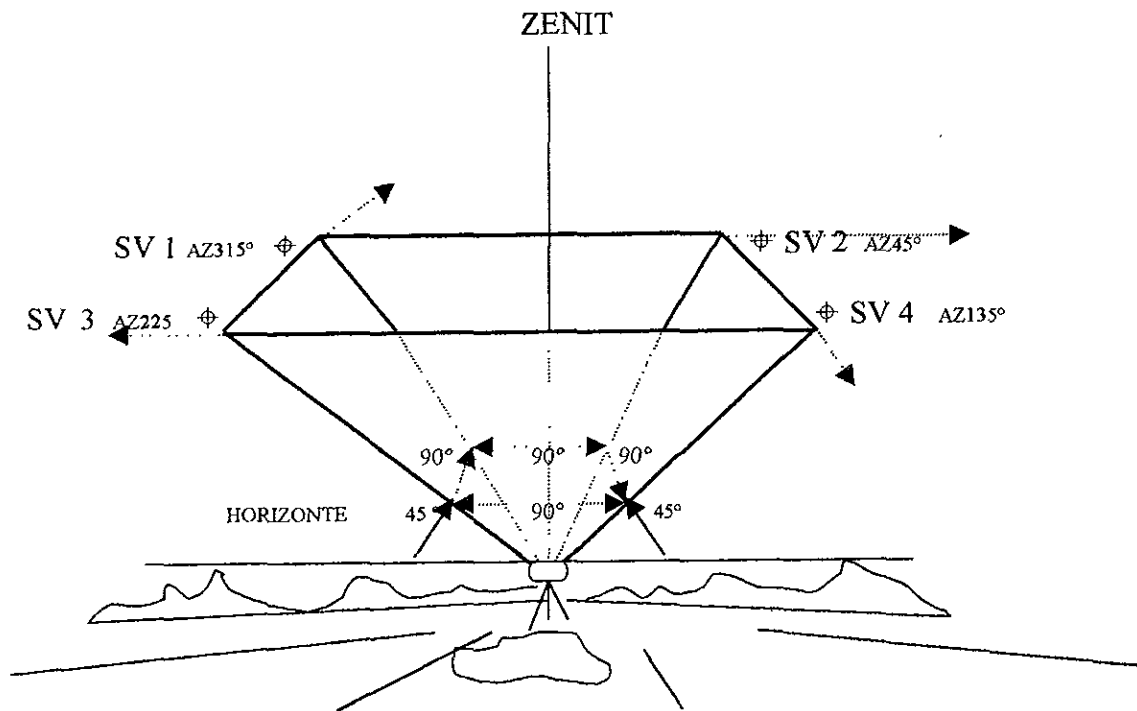


Fig.3.10

### 3.10.5 Ecuación de la definición geométrica GDOP (SIGSA. 1994. *Conceptos de Geodesia Satelital*: 38)

Por ser un sistema de latitud, longitud, altura y tiempo se necesitan 4 satélites como mínimo para

definir la posición geométrica de un punto. Si por alguna razón a la hora de medir no tenemos este número de satélites no será posible definir la posición. El GDOP es un valor geométrico que indica cuándo el número mínimo de satélites tiene la mejor configuración u orden espacial alrededor del punto, tomando como modelo de referencia la figura de una pirámide invertida perfecta.

En la figura 3.10 teóricamente, el GDOP tiene un valor de 0, si sobre un punto de la superficie terrestre se tiene, en un momento determinado, cuatro satélites distribuidos cada uno en un cuadrante, a 45° de elevación sobre el horizonte y separados entre sí exactamente 90°, se forma el modelo de pirámide perfecta.

$(GDOP)^2 = (PDOP)^2 + (TDOP)^2$  el valor cuadrático del GDOP depende de la definición de la precisión de un punto P en un tiempo T dado. En este tiempo, el PDOP también vale cero, porque la rigidez geométrica a priori resuelve el problema de la posición en función de la sincronía de los osciladores, la pseudo distancia de los satélites y la nitidez de la señal por correcciones atmosféricas. En la práctica (Fig. 3.11), el valor de GDOP siempre está arriba de 1, en el horizonte tendrá más de cuatro satélites y el algoritmo resolverá la geometría y posición con aquellos satélites que tengan una configuración parecida a la ideal, dentro de la ventana de medición. Al utilizar los parámetros de 10° y 15° grados de elevación y un mínimo de 4 o 5 satélites, se garantiza que los programas de cómputo puedan calcular la geometría y posición de un punto. Pero los receptores están archivando una infinidad de valores de PDOP tantos como el número de épocas que dure nuestra sesión, entonces el programa utiliza las matrices de varianza – covarianza para definir una posición única.

$$GDOP = (\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 + \sigma_t^2 + c^2)^{1/2} \quad 12$$

$$PDOP = (\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2)^{1/2}$$

$$TDOP = \sigma_t$$

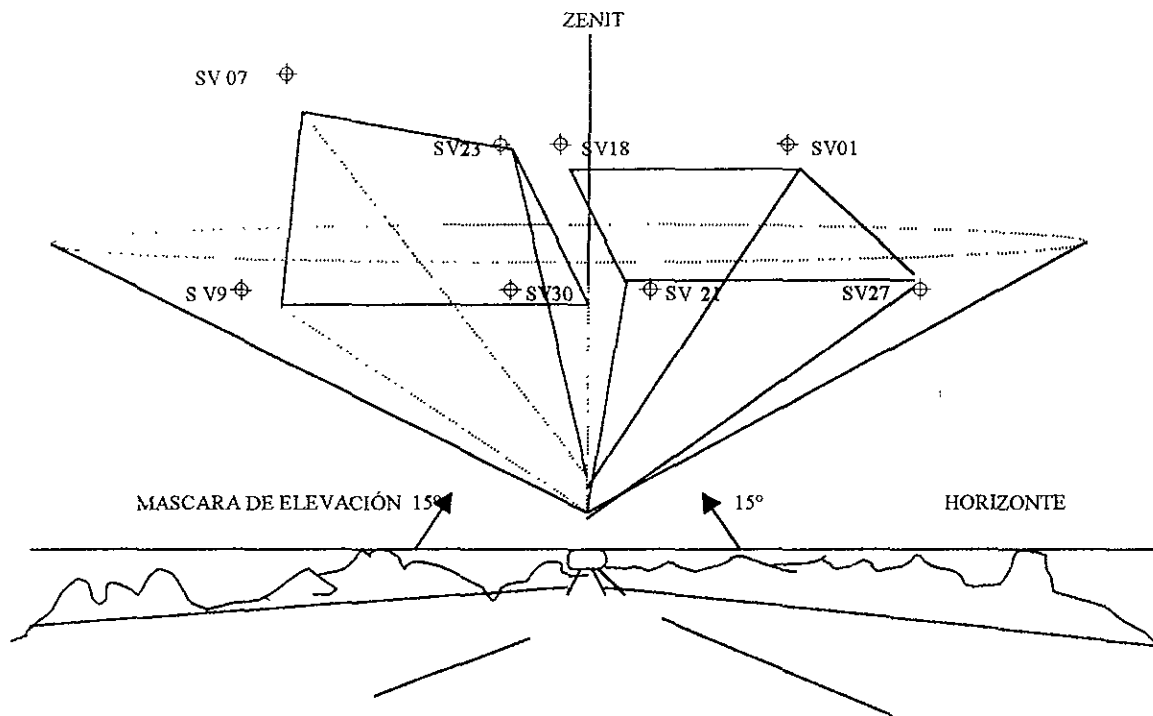


Fig.3.11

### 3.10.6 La matriz de diseño del algoritmo del posicionador del GPS (ASHTECH 1992. Op.cit: 60)

$$A = \begin{bmatrix} -(X' - X_s) / \Delta R_s' & -(Y' - Y_s) / \Delta R_s'' & -(Z' - Z_s) / \Delta R_s' & C \\ -(X'' - X_s) / \Delta R_s'' & -(Y'' - Y_s) / \Delta R_s'' & -(Z'' - Z_s) / \Delta R_s'' & C \\ -(X''' - X_s) / \Delta R_s''' & -(Y''' - Y_s) / \Delta R_s''' & -(Z''' - Z_s) / \Delta R_s''' & C \\ -(X'''' - X_s) / \Delta R_s'''' & -(Y'''' - Y_s) / \Delta R_s'''' & -(Z'''' - Z_s) / \Delta R_s'''' & C \end{bmatrix}$$

<sup>12</sup>  $\sigma$  es la varianza de cada coordenada

Donde  $X^1 \dots Y^4 \dots Z^4$  son las coordenadas de los cuatro satélites (GDOP):  $X, Y, Z$ , son las coordenadas del receptor (PDOP) y los valores  $\Delta R^1 \dots \Delta R^2 \dots \Delta R^4$  son las cuatro pseudo distancias y tiempos entre los satélites y el receptor (fórmula general y derivadas).

### 3.10.7 Ecuaciones de efectos ionosféricos y troposféricos (SIGSA.1994.Op.cit: 42)

La señal electromagnética de satélites que se capta en los receptores sufre distorsiones en su paso por las capas de la atmósfera. Por las características de la longitud de onda, las capas de la ionosfera y troposfera son las que más afectan la señal satelital.

El efecto ionosférico en las frecuencias  $L1$  y  $L2$  transmitidas por los satélites es directamente proporcional a la concentración de iones e inversamente proporcional al cuadrado de la frecuencia según la siguiente fórmula:

$$E_i = D_e / f^2$$

$D = -1.35 \times 10^{-7}$ ; la cantidad expresa la densidad media de electrones. Aunque de la densidad de electrones depende la latitud, día, hora, y época del ciclo solar.

$e$  = el número de electrones

$f^2$  = frecuencia transmitida al cuadrado

Para disminuir el efecto ionosférico se utiliza un factor  $R = f1/f2$ .

El retraso troposférico de las frecuencias transmitidas se debe a que el 90 % de la masa molecular de la atmósfera y 95% de los procesos meteorológicos se desarrollan en la troposfera. Es decir, el retraso troposférico es una función de la temperatura, presión, humedad relativa y la altura. Alcanza a tener un efecto de error de 2 o 3 cm en una dirección cenital o metros en una posición de  $5^\circ$  de altura sobre el horizonte.

El GPPS y el PNAV presentan un mecanismo para calcular el retraso troposférico y la aceleración ionosférica. Además, en estos programas se calcula la posición de un punto con las siguientes

constantes; temperatura media de 20° C, 50% de humedad relativa, 1010 ML milibares de presión media.

### **3.11 Pos Proceso de la información colectada en campo**

Como se ha expuesto, en los posicionadores del GPS se recoge la información con archivos B, E, y S los cuales se denominan archivos crudos.

Al hacer el pos proceso, se depura la información cruda de los archivos B E S. Es decir, la información cruda es sometida a pruebas estadísticas, por medio de un algoritmo de cómputo se calculan las ecuaciones estadísticas que se expondrán más adelante, y después se obtienen las coordenadas de los sitios donde se instaló el aparato. Cabe aclarar que en el resultado del pos proceso se obtiene más de una coordenada por punto. Y en otra etapa por medio del ajuste de mínimos cuadrados (GEOLAB) es posible obtener las coordenadas únicas de los vértices (ver cap.3.10). La secuencia del pos proceso es la siguiente:

1. El primer paso en el proceso de información, es transferir dicha información de cada posicionador a una computadora<sup>13</sup>.
2. El segundo paso es respaldar los archivos B E S. Para proteger la información en caso de que sea borrada o desaparezca si se daña la computadora.
- 3 El tercer paso es depurar los archivos B en tiempos comunes, es decir, eliminar la información que no sea necesaria, adelgazar los archivos, cambiar los parámetros, y en caso de que sea necesario corregir el nombre del archivo.
4. Cuando se tiene limpia la información procedemos a ejecutar cualquiera de los programas de cómputo GPPS o PNAV. Como cualquier programa de cómputo, éstos se ejecutan siguiendo una serie de pasos seleccionando las opciones de acuerdo al tipo de información que contengan los archivos B E S. Dominar estos programas requiere únicamente de práctica y conocimientos sólidos

de computación. Por tanto, el análisis aquí presentado se centra en explicar cómo se realiza el proceso del programa.

5. Cuando el programa termina de hacer los cálculos, el resultado del proceso se guarda en un archivo de resumen o salida<sup>14</sup>.

6. Analizando la información de los archivos de salida "O" y el sumario estadístico, es posible determinar en parte la calidad de la información del proceso. Pero, lo que realmente determina la calidad de la red formada es el ajuste por mínimos cuadrados<sup>15</sup>.

7. Si la información pasa el ajuste, entonces las coordenadas que se obtienen en los archivos de salida<sup>16</sup> de GEOLAB se toman como válidas.

8. Con el programa<sup>17</sup> T-MODEL utilizando las coordenadas de los archivos LST de GEOLAB se genera el dibujo en un formato denominado CGP-DXF<sup>18</sup>.

9. Con el archivo CGP-DXF se imprimen los planos del ejido (ver carta anexa).

#### 4.11.1 El programa GPPS

El programa de GPPS tiene dos algoritmos para calcular la posición de los puntos (Ashtech. 1991. *GPPS Post-Processing Sistem*: 17).

El LINECOMP es un algoritmo donde se hacen todos los cálculos sobre la señal de la frecuencia L1 y L2.

La secuencia del trabajo de GPPS es como sigue:

1. Crea un archivo de proyecto con la información del sitio (PROJFILE).
2. Lee los archivos e y crea un archivo común de efemérides y de navegación (COMMON.NAV).

<sup>13</sup> La computadora debe tener instalado un procesador matemático para que pueda realizar los cálculos.

<sup>14</sup> El SUMMARY OUT es el archivo de salida donde se almacenan los resultados del proceso.

<sup>15</sup> GEOLAB es el programa de mínimos cuadrados que determina la calidad de la información obtenida.

<sup>16</sup> El archivo LST da un resumen con los resultados del ajuste por mínimos cuadrados.

<sup>17</sup> T-MODEL programa de dibujo topográfico.

<sup>18</sup> CGP-DXF acrónimo de ( COORDENATE GEOGRAFIC POINT- DRAW INTERCHENGE FORMAT) coordenadas geográficas del punto, y formato intercambiable de dibujo.

3. Ejecuta un programa llamado creador de archivos U (MAKEUFIL). Donde usa el archivo común de navegación, los archivos crudos b y crea un archivo u de fase indiferenciada (IFILE) por cada archivo b

ALGORITMO LINECOMP			ALGORITMO L2C		
MODO DE PROCESO	FRECUENCIA	CORRECCION IONOSFERICA	MODO DE PROCESO	FRECUENCIA	CORRECCION IONOS
0	WIDELINE <sup>19</sup>	SI	6	L1, L2 CODIGO P A	SI
1	L1	NO			
3	L1C	SI			

TABLA 3.12

4. Después corre el programa creador de archivo i (MAKEINP). Donde utiliza la información del archivo de proyecto y los parámetros de tiempo corrida (RUN-TIME PARAMETERS) y crea un archivo i de entrada.

5. Con los archivos creados hasta aquí el siguiente paso es ejecutar el algoritmo (LINECOMP o LC2) en función del modo de proceso.

6. Una vez que ejecuta el algoritmo LINECOMP genera los siguientes archivos de salida

✓ Un archivo O en formato ASCII<sup>20</sup> por cada vector con los resultados de cada etapa del proceso.

(ver anexo 1)

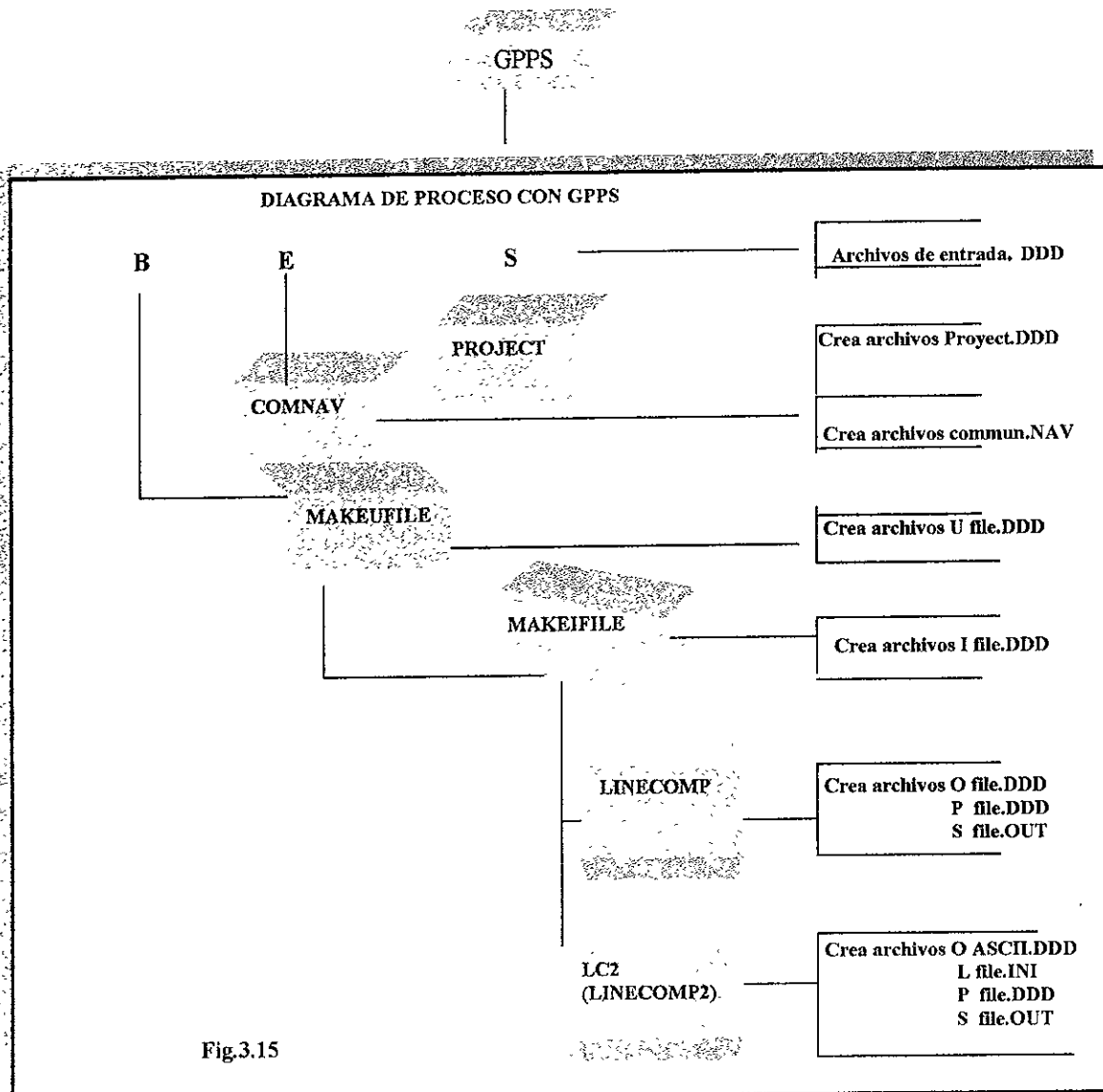
✓ Un archivo P (PLOTFILE) con la gráfica de residuales asociados al tiempo.

✓ Un archivo L contiene los parámetros utilizados para resolver las ecuaciones de ambigüedad arriba presentes.

<sup>19</sup> Frecuencia de banda ancha L1+ L2. Es una línea ancha de fase 0 donde el valor observado puede tener un valor entero exacto para medición de fases instantáneas completas.

<sup>20</sup> ASCII (AMERICAN ESTÁNDAR CODE FOR INTERCHANGING INFORMATION) código estándar norteamericano para el intercambio de información.

✓ Un archivo OUT contiene un resumen de los resultados estadísticos del pos proceso



7. Una vez que ejecuta el algoritmo LC2 genera los archivos de salida siguientes:

Un archivo O en formato binario<sup>21</sup> por cada vector con los resultados de cada etapa del proceso

Un archivo L en formato ASCII también con los resultados del proceso.

Un archivo P con la gráfica de residuales asociados al tiempo.



Un archivo lc2 especificando los parámetros de tiempo corrida.

Un archivo OUT contiene un resumen con los resultados del pos proceso (ver anexo 1)

### 3.11.2 El programa PNAV

Este programa tiene dos algoritmos. Estos se resuelven siguiendo una secuencia parecida a la del programa GPPS, donde crea los mismos archivos que GPPS, más otros, y con excepción del archivo de entrada (i). Además tiene algunas diferencias como las siguientes:<sup>22</sup>

- ✓ No es necesario iniciar el levantamiento de un punto de coordenadas conocidas o hacer una sesión estática de inicio.
- ✓ Los tiempos de inicialización son menores a los de GPPS; resuelve más fácilmente las ecuaciones de ambigüedades, porque tiene integrada la ecuación de retraso ionosférico.
- ✓ Si hay pérdida de señal durante los traslados no es necesario regresar al punto de coordenadas conocidas.
- ✓ Puede procesar hasta 80 sitios a la vez.
- ✓ Tiene dos algoritmos integrados: LINECOMP y PNAV.

Este programa fue diseñado para definir más rápidamente la nitidez de la señal y puede procesar la información de cualquier tipo.

PNAV			
Algoritmo PNAV		Algoritmo LINECOMP	
Tipo de señal	Solución de ambigüedades		Nivel de exactitud
Fase carrier CA no suavizada	Flotantes		3 a 5 m
Fase carrier CA suavizada	Flotantes		1 a 3m
Fase de código CA	Flotantes		0.1 a 1.0 m
Fase de código P doble frecuencia L1L2	Flotantes		0.1 a 0.5m
Fase de código P + fase carrier doble frecuencia L1L2	Flotantes		0.1 a 0.1m
Fase carrier doble frecuencia L1L2	Fijas		0.1 a 0.01m

Tabla 3.13

Secuencia del cálculo de una posición con el programa PNAV Fig 4.15

1. Al iniciar, con los archivos B E S crea los archivos de proyecto PROJFILE.KIN y LOGTIMES.<sup>23</sup>

<sup>21</sup> El formato binario es el que utiliza cualquier ordenador sobre la base del sistema binario de 0 1 para representar caracteres.

2. Después de haber depurado el archivo LOGTIMES inicia la generación de archivos intermedios en el orden siguiente: crea un archivo común de navegación y uno de configuración CNF para calcular la configuración de los archivos binarios del mensaje de navegación; crea un archivo PMT con los parámetros del proceso estadístico llamado filtro de KALMAN; genera los archivos POS y PNT con los datos del sitio y excentricidad de la antena donde se realiza la sesión; crea un archivo SIM con la simulación de la posible ubicación del punto antes de procesar; por último, genera un archivo WAY que es un listado de los sitios con la secuencia de proceso según el orden de tiempo.
3. En la última parte de proceso el programa crea los archivos siguientes; el archivo J da la posición relativa y la velocidad del equipo móvil; el archivo C da la posición XYZ del equipo móvil en coordenadas WGS84; el archivo V da la posición completa XYZT equipo móvil en lenguaje binario; el archivo O da las soluciones estadísticas de los vectores de cada equipo móvil y sitio; el archivo L proporciona los datos de los sitios con que se realizó el proceso; el archivo P se crea manualmente y contiene las gráficas con los resultados estadísticos del proceso; y al final se genera el archivo SUMMARY.OUT que contiene el resumen estadístico de cada equipo y sitio procesado.

### **3.11.2.1 Los parámetros de ejecución o filtro de KALMAN**

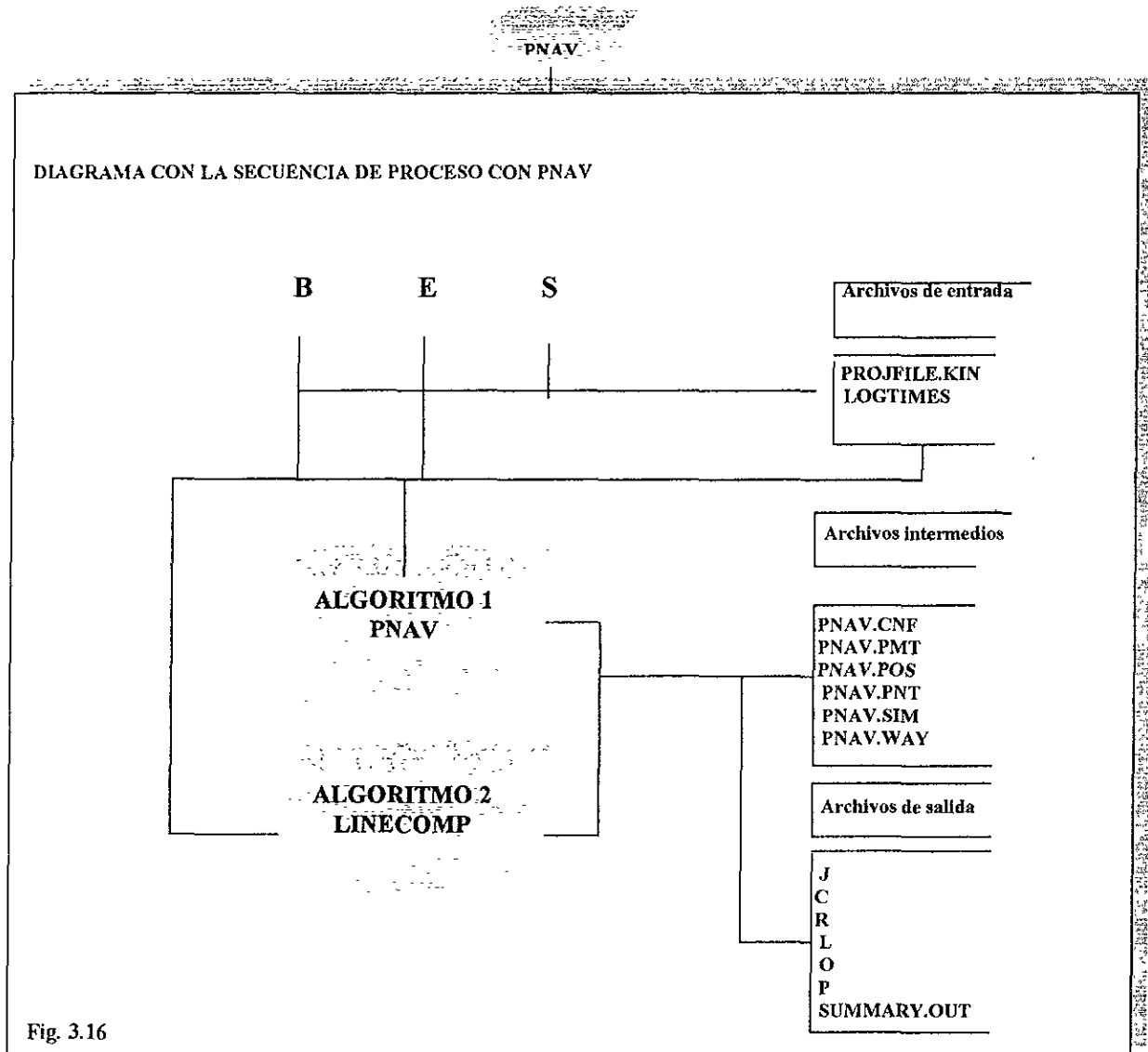
El propósito del filtro de Kalman es "... construir un modelo y calcular en tiempo real los efectos de los errores principales del sistema en las mediciones. Se formulan hipótesis iniciales acerca de los errores en los elementos de medición más importantes. Luego a medida que avanza él [proceso], la computadora detecta los cambios sistemáticos que se producen en estos supuestos valores y actualiza en forma continua estas hipótesis produciendo una nueva estimación de error. Cuando el sistema realiza un cierre en algún punto de control, la computadora hace un ajuste del error del

---

<sup>22</sup> Ashtech. PNAV Precise Diferencial GPS navigation and surveying Ashtech, INC. Ontario, Canada 1995 P.28

<sup>23</sup> Archivos de posición y de tiempo respectivamente.

cierre según el error estimado en función del tiempo transcurrido en la misión” (IPGH.1987. *Manual de normas y especificaciones para levantamientos geodésicos de alta precisión en áreas pequeñas*: 35).



El filtro de KALMAN (algoritmo 1 PNAV o 2 LINECOMP) está compuesto por tres partes; la primera (tabla 4 14) es el conjunto de valores sobre el tipo de información que se procesa; la segunda

(tabla 4.15) son los parámetros estadísticos de ejecución del programa; y la tercera (tabla 4.16) es el conjunto de pruebas de certeza sobre la calidad de los resultados, al utilizar cierto tipo de información, ciertos parámetros ejecución y ciertas pruebas estadísticas.

FILTRO DE KALMAN			
I PARAMETROS DE TIEMPO Y POSICION			
No	Sitio estático	No	Modelo de múltiple trayectoria
Sí	Coordenadas Norte Este Altura	Automático	Modelo aceleración ionosférica
No	Uso de la señal Doppler	Sí	Modelo de retraso troposférico
Sí	Uso de la fase carrier (portadora)	Sí	Forma ambigüedad en la banda ancha
No	Uso del código C/A pseudo distancia	No	Pseudo distancia sin interferencias
No	Forma LC observable	No	Fijar ambigüedades
No	Re cálculo de ambigüedades en sitio fijo	No	Usar satélites en mal estado
	Uso de pseudo distancia cada	0.0 (segundos)	Angulo de elevación de la máscara: 10
	Satélites a omitir durante el proceso	<u>10 08</u> 0 0 0 0 0	(grados)
	Satélites a omitir como referencia	<u>2 31</u> 0 0 0 0 0	

**Tabla 3.15** (INEGI 1996. Op.cit: 57)

El proceso con PNAV da la posibilidad de seleccionar cualquiera de los dos algoritmos o la opción de pseudo distancia, dependiendo del tipo de información colectada en los receptores o de las condiciones topográficas de los sitios.

En la tabla 3.14 se destaca el uso de varios modelos para corregir las distintas interferencias que sufre la señal del satélite. Las opciones de esta tabla se pueden modificar al inicio del proceso, pero sobre todo se utiliza cuando se reprocesa la información.

FALTA PAGINA

No.

116

---

**3 ARGUMENTOS DE CALIDAD DE LOS  
PARAMETROS**

---

Medidas de escala para la distancia de la línea base	1.50 partes por millón
Máximo porcentaje permitido para la fase de residuales	0.02 metros
Máximo valor permitido para la prueba CHP	5.0
Máximo periodo de pérdida de la señal de predicción de la posición	30.0 segundos
El peso de la pseudo distancia para calcular la elevación	No 90/ elevación
El peso de la fase carrier para calcular la elevación	No 90/ elevación
Recálculo durante el sitio fijo	No
Solución independiente para cada equipo	No
DFC Detección y fijar saltos de ciclo	No
SVD Detección y fijar saltos de ciclo en la fase de código	No

---

**Tabla 3.16**

### **3.12 Los principios estadísticos para el análisis de la información del posicionador del GPS**

Los cálculos que realiza el posicionador del GPS, los programas del proceso y el ajuste de la información son actividades de computo muy complejas y están ligadas con el desarrollo en el uso de la computadora. De no existir dichos instrumentos con el volumen de información que almacenan los posicionadores, prácticamente sería imposible para un individuo o institución tener resultados en lapsos de tiempo corto.

Las velocidades con que una computadora resuelve las ecuaciones son inimaginables; no obstante esa condición, la secuencia del cálculo sigue los mismos principios matemáticos y estadísticos como si se realizaran con calculadora o se resolvieran por medio de fórmulas con lápiz y papel. Entonces, las funciones del operador de un posicionador del GPS o una computadora se limitan a saber interpretar los resultados de los procesos de las máquinas. Como vimos arriba son varias las ecuaciones y las matrices que utiliza un posicionador del GPS para calcular la posición de un

vértice. Ahora, en esta parte, se mostraran las principales fórmulas y pruebas estadísticas que se utilizan durante el proceso y ajuste de la información del GPS.

### 3.12.1 El concepto de probabilidad

La probabilidad es un principio matemático que indica la razón del número de resultados favorables al número de resultados posibles cuando todos son igualmente probables. Este es un concepto fundamental para entender la estadística, ya que la estadística no se ocupa de las certezas sino de las probabilidades (Ebdon David S. 1982. *Estadística para geógrafos*: 24).

Las probabilidades teóricas pueden calcularse por adelantado en lugar de obtenerlas experimentalmente... [es el caso de la solución para las ecuaciones por múltiple trayectoria, de aceleración ionosférica o de retraso troposférico que utiliza la tarjeta de navegación (Probabilidad a priori)]. Las probabilidades que sólo pueden obtenerse experimentalmente se llaman probabilidades a posteriori. .” [ajuste de la información] (Ebdon...1982. *Ibidem*: 25)

Si hay seguridad de que “se realice” un resultado, su probabilidad es uno. En el archivo de salida sumario correspondería a un grado de certeza (RATIO) de 100%. Si hay seguridad de que “no se realice” su probabilidad sería cero y aparece en el archivo como solución no gravada. Las probabilidades individuales de todos los resultados posibles de cada época de información mutuamente excluidos han de sumar uno o 100%.

$$P = \frac{h}{n}$$

P = probabilidad

h = número de veces que ocurre un evento

n = número total de probabilidades

### Ejemplo 3.1 calculo de probabilidades

Distribución de la frecuencia y probabilidad de PDOP para una sesión con método cinemático 2 minutos de registro (24 épocas con un intervalo de 5 segundos)

PDOP (clase)	Frecuencia	probabilidad	%
1.00 – 1.50	5	$5/24 = 0.2083$	20.83
1.50 - 2.00	8	$8/24 = 0.3333$	33.33
2.00 – 2.50	5	$5/24 = 0.2083$	20.83
2.50 – 3.50	4	$4/24 = 0.1667$	16.67
3.50 – 5.00	2	$2/24 = 0.0834$	8.34
	24	1.0000	100

Tabla 4.17

En la tabla 3.17 si sumamos los primeros cuatro renglones vemos que hay un 91.66 % de probabilidad de que el posicionador llegue a tener durante una sesión un PDOP menor a 3 lo cual da una buena geometría para el cálculo de la posición del sitio.

#### 3.12.2 El concepto de población

“ En el análisis estadístico se denomina variable estadística o variante a la magnitud que varía, y puede ser la variable original o una cantidad derivada de ella, como la media de muestras o su desviación estándar, etc” (Kennedy, John b. Et.al. 1976. *Estadística para ciencias e ingeniería*: 3).

Población: es la totalidad de elementos que pertenecen a un conjunto; también es conocida como universo.

Muestra: es una parte del total de elementos de un conjunto. En el muestreo se miden o consideran las propiedades de una muestra con el objeto de estimar las características de todos los elementos (población) de los cuales se extrajo la muestra. No sólo es conveniente tomar la muestra representativa de la población subyacente, ya que la conclusión a la que se llegue es sólo probablemente correcta, pues no se puede tener una certeza total con base en el muestreo (Kennedy...1976. *Ibidem*. 3).



### 3.12.3 La media aritmética

La media aritmética es una medida estadística que nos indica el promedio de un conjunto de datos de cantidad  $X$ . Se calcula sumando todos los valores de un conjunto de datos y dividiendo la suma por el número de datos.<sup>24</sup>

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

$\bar{x}$  media de la variable  $x$

$\sum x$  suma de todo los datos desde el primero ( $i=1$ ) hasta el último ( $i=n$ ) entre el número total de datos ( $n$ ) variable  $x$

$n$  número de datos de  $x$

Ejemplo 4.2. Cálculo de la media aritmética.

En un posicionador Z12 se registraron las siguientes coordenadas durante 2 minutos; con intervalo de 15 segundos calcular la media aritmética de las coordenadas.

Latitud	Longitud	Altitud
19° 30' 0".3698	99° 10' 0".5842	2314.25
19° 30' 0".3687	99° 10' 0".5846	2314.28
19° 30' 0".3687	99° 10' 0".5789	2313.98
19° 30' 0".3598	99° 10' 0".5864	2314.01
19° 30' 0".3691	99° 10' 0".5846	2313.95
19° 30' 0" 3500	99° 10' 0".5788	2313.94
19° 30' 0".3651	99° 10' 0".5779	2313.99
19° 30' 0".3680	99° 10' 0".5791	2314.01
$\bar{X} = \sum x / n; \bar{X} = 15442.9192/8 = 19° 30' 0".3649$	$\bar{X} = 79284.6545/8 = 99° 10' 0.5818"$	$\bar{X} = 18512.4178 / 8 = 2314.0512$

Tabla 4 18

En este ejemplo la media de un conjunto de datos sería el valor más probable para cada componente calculado en latitud, longitud y altitud.

### 3.12.4 Los errores en las observaciones

Otro concepto fundamental, para entender los resultados estadísticos es el de error, el cual está definido por "la diferencia entre el valor observado o calculado contra el valor verdadero".

Cualquier medida que se realice contendrá un error de observación y son varios los factores que impiden obtener el valor real de una medida. Y como no es posible saber el valor verdadero se realizan una serie de cálculos para aproximarse a él. Por medio de la teoría del ajuste de GAUS y LEGENDRE se sabe “que la mejor estimativa [de una cantidad física] es el valor que hace mínima la suma de los cuadrados de los residuos” (Fernández Ch, Benjamín. 1987. *“El concepto de mínimos cuadrados”*: 19). Los errores se clasifican en accidentales, instrumentales, naturales, aleatorios (causales o al azar). Los errores aleatorios son todos los errores remanentes que quedan después de eliminar los errores accidentales, sistemáticos y naturales. Este tipo de errores son pequeños en sí, pero numerosos, y cada uno tiene la posibilidad de ser positivo o negativo...

“... Para determinar la mejor estimación del valor verdadero las observaciones son sometidas a un proceso de correcciones... las observaciones de una cantidad tienen dispersión. Los causantes de la dispersión son los errores” (Sosa, Torres Rafael. 1986. *Ajuste por mínimos cuadrados*: 45-46).

El término error — comenta el maestro Sosa — significa una desviación del resultado con respecto al valor verdadero, por lo que sólo se pueden tener “estimaciones” de los errores inherentes a las observaciones (Sosa... 1986. *Ibíd*em: 45).

Es conveniente aclarar que no todos los parámetros físicos que intervienen en la transmisión y recepción de la señal satelital afectan la determinación del cálculo de las coordenadas, el número de ciclo enteros, la calidad de la señal o de la geometría. En nuestro proceso, las técnicas y metodologías sólo sirven para tomar los parámetros más importantes y las correcciones de los errores se hacen en función de ellos.

En el mismo sentido existe la discusión entre lo que es preciso y exacto: “... la exactitud expresa cuán cerca están las medidas con respecto del valor ‘verdadero’ o real de la magnitud que se mide. El término precisión (o repetibilidad) se refiere al grado en que las mediciones concuerdan entre sí” (Kennedy... 1976. *Op.cit*: 12).

Para fines prácticos se dice que la media aritmética es la mejor estimación posible para el valor verdadero de una cantidad.

### 3.12.5 El error medio y medio cuadrático

Error medio: es el promedio de las desviaciones, dadas por sus valores absolutos.

$$em = \lim_{n \rightarrow \infty} [1/n \sum_{x=i}^n |X_i - \bar{x}|]$$

El error medio o residuo es una medida de la dispersión de las posibles observaciones con respecto a la media de una muestra de datos.

Ejemplo 4.3 calcular el error medio de la siguiente serie de datos

Altura en metros ( $X_i$ )	$X_i - \bar{x}$
2240.8568	0.0000
2240.8572	0.0004
2240.8570	0.0002
2240.8565	-0.0003
2240.8566	0.0002
2240.8569	0.0001
$\sum X_i = 13445.141$ $\mu = \sum X_i/n = 13445.141/6 = 2240.8568$	$\sum  X_i - \mu  = 0.0012$ $em = \sum  X_i - \mu /n = 0.0002$

Tabla 3.19

También se tiene el error medio cuadrático, que se define como la raíz cuadrada de la sumatoria de los errores verdaderos divididos por el número de observaciones. Se expresa matemáticamente como:

E.M.C. =  $\sqrt{\sum \varepsilon/n}$ . Pero ante la imposibilidad de conocer los errores verdaderos  $\varepsilon$  se utiliza otra ecuación, donde es posible expresar el error medio cuadrático en función de los errores aparente o residuos; esa forma es conocida como la desviación estándar, que se verá a continuación (Fernández Ch, Benjamin. 1985. "La propagación de los errores en las mediciones geodésicas": 119).

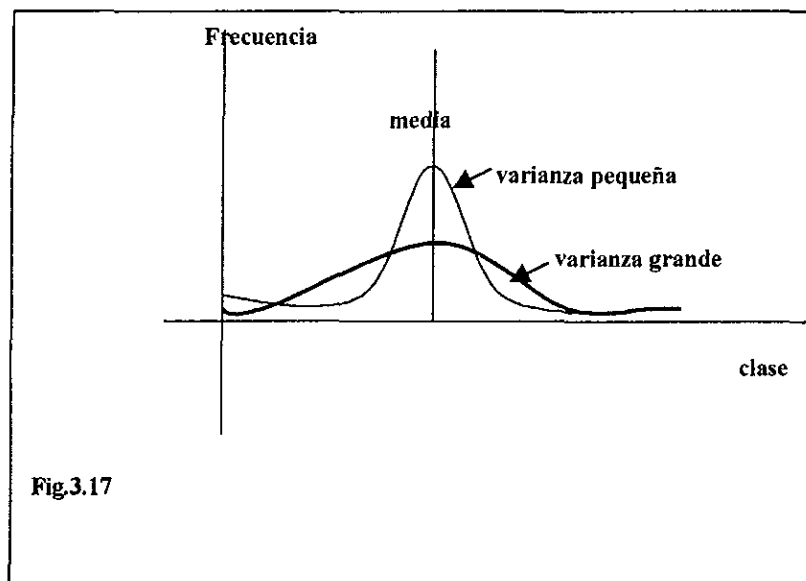
### 3.12.6 La varianza y la desviación estándar

"Si el conjunto de valores (población finita) está formado por  $n$  observaciones  $x_i$ , cuya media es  $\bar{x}$ , podemos expresar la desviación con respecto a la media ( $x_i - \bar{x}$ ) de cada observación; a dicha observación se le conoce a veces como residuo. La desviación cuadrada media recibe el nombre de

varianza ... está dada por” (Kennedy... 1976. Op.cit: 34)

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i^2 - \bar{X}^2)}{n - 1}$$

“La varianza (o desviación típica) es una medida de dispersión o variación de los valores de la variable aleatoria alrededor de la media. Si los valores tienden a concentrarse alrededor de la media, la varianza es pequeña, en tanto que si los valores tienden a distribuirse lejos de la media, la varianza es grande. La situación se representa gráficamente en la fig.3.17. para el caso de dos distribuciones continuas de misma media (Murray R. Spiegel. 1976. Probabilidad y Estadística : 372).



Por otro lado muchas características numéricas de las distribuciones se expresan directamente en términos de la raíz cuadrada de la varianza. Por tanto es preferible referirse a dicha raíz cuadrada con el nombre de desviación estándar(Kennedy...1976: 34).

Ejemplo 4.4 calcular la varianza y desviación estándar del ejemplo anterior

Altura en metros	$(x_i - \bar{x})^2$	$s^2$	$\sqrt{s^2}$
2240.8568	0.00000000	$s^2 = \frac{\sum x_i (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$ $s^2 = 0.000000034/6$	$s = \sqrt{\frac{\sum x_i (x_i - \bar{x})^2}{n}}$
2240.8572	0.00000135		
2240.8570	0.00000028		
2240.8565	0.00000111		
2240.8566	0.00000054		
2240.8569	0.00000004		
$\Sigma = 13445.141$ $\mu = 2240.856833$	$\Sigma = 0.00000332$	$s^2 = 0.00000055$	$s = 0.00023523$

Tabla 3.20

“... Las medidas de dispersión... describen la dispersión de los valores alrededor de algún tipo de promedio, las medidas de dispersión espacial informan sobre la dispersión zonal de los puntos alrededor de un centro” (como un punto en el cálculo de las coordenadas) Ebdon...1982. Op. Cit: 223)

### 3.12.7 El Peso de una observación

Bajo las mismas condiciones de medición. “El peso de una observación es el valor relativo que pueda tener dicha observación cuando se le compara con otro valor... tomado como referencia. Los pesos son expresiones de las calidades relativas (índice de confianza) de las observaciones. Un error estándar en milímetros al medir una distancia indica una alta precisión e implica una buena observación y en consecuencia un alto peso; y viceversa un error estándar en metros es indicativo de una observación pobre y de un bajo peso” (Sosa... 1986. Op.cit:169).

Si las observaciones han sido realizadas bajo las mismas condiciones con un mismo observador, siempre empleando el mismo aparato, la misma metodología, en condiciones ambientales similares y bajo las mismas normas y procedimientos, al compararse entre ellas se dice que pueden alcanzar la misma precisión, por lo que todas merecen igual confianza, es decir tienen igual peso (Sosa...1986 Ibidem: 170).

### 3.12.8 El concepto de mínimos cuadrados

Postulado de GAUSS para observaciones de igual peso.

“En el caso de las observaciones directas de igual peso, la media aritmética o promedio será el valor más probable del valor verdadero de una cantidad ... que se haya medido” (Sosa...1986 Ibidem: 169).

El principio fundamental de mínimos cuadrados es que “para tener el valor máximo para la probabilidad combinada de ocurrencia sucesiva (o simultanea) para cualquier discrepancia  $V_i$ , la suma del cuadrado de estas discrepancias debe ser mínima (Sosa... 1986 Ibidem: 170).

$$\sum V_i^2 = (V_1^2 + V_2^2 + V_3^2 \dots + V_n^2) = \text{mínimo}$$

El valor más probable queda expresado como:

$$\emptyset_{\text{mín}} = V^2_1 + V^2_2 \dots V^2_n = \sum_{i=1}^n V^2_i$$

$\emptyset_{\text{mín}}$  valor mínimo del cuadrado de las discrepancias

$V_i$  son los residuos

1. El valor del número  $\emptyset$  que hace mínima la suma del cuadrado de las discrepancias, es aquel que numéricamente es igual a la media ( $\mu$ ) de las observaciones.

2. Si  $\emptyset = \mu$  entonces las discrepancias resultantes serán  $V_i = \emptyset - \mu = r_i$ ; es decir, en este caso, las discrepancias  $V_i$  son numéricamente iguales a los residuos  $r_i$ .

3. Estas discrepancias  $V_i$  son las que tienen la máxima probabilidad de ocurrencia  $\rho$ .

4. Para una muestra de observaciones independientes de igual peso  $L = (L_i)$ ;  $\mu$  la media es el valor más probable (VMP) para el valor verdadero de una cantidad física.

$V_i = r_i$ : el valor numérico de las  $V_i$  son las estimaciones más probables para los errores de una serie de observaciones de igual peso.

5. Al aplicar el método de mínimos cuadrados para observaciones no correlacionadas y de igual peso se deben realizar observaciones redundantes, es decir, hacer más de una medición para calcular

el valor más probable de una cantidad física. También en este tipo de observaciones la mejor estimativa es la media aritmética.

Ejemplo 4.5: aplicación de concepto de mínimos cuadrados por el método paramétrico.

Utilizando el método paramétrico de ajuste de mínimos cuadrados, calcular la latitud más probable cuando fue observada de un posicionador Z12, cuatro veces, con 15 segundos de intervalo entre registro y registro.

Datos: número de observaciones 4 y número de parámetros 1

Latitud estimada =  $\varphi'$

En el método de ajuste por mínimos cuadrados el número de ecuaciones es igual al número de observaciones ( $n=4$ ).

$\varphi_1 + V_1 = \varphi'$	$V_1 = \varphi' - \varphi_1$	...	1	$\varnothing_{\min} = V^2_1 + V^2_2 + V^2_3 + V^2_4 = (\varphi' - \varphi_1)^2 + (\varphi' - \varphi_2)^2 + (\varphi' - \varphi_3)^2 + (\varphi' - \varphi_4)^2$	...2
$\varphi_2 + V_2 = \varphi'$	$V_2 = \varphi' - \varphi_2$			se obtiene la derivada la ecuación	...2
$\varphi_3 + V_3 = \varphi'$	$V_3 = \varphi' - \varphi_3$			$d\varnothing/d\varphi = 2(\varphi' - \varphi_1) + 2(\varphi' - \varphi_2) + 2(\varphi' - \varphi_3) + 2(\varphi' - \varphi_4) = 0$	... 3
$\varphi_4 + V_4 = \varphi'$	$V_4 = \varphi' - \varphi_4$				
	De... 2	De ...3		por tanto	$4 \varphi' = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4$ y
$\varphi_1 = 19^\circ 12' 22''.956$	$\varphi' - 19^\circ 12' 22''.956$	$2(\varphi' - 19^\circ 12' 22''.956)$			$\varphi' = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4 / 4$
$\varphi_2 = 19^\circ 12' 23''.010$	$\varphi' - 19^\circ 12' 23''.010$	$2(\varphi' - 19^\circ 12' 23''.010)$			$\varphi' = 764892.938/4$
$\varphi_3 = 19^\circ 12' 23''.046$	$\varphi' - 19^\circ 12' 23''.046$	$2(\varphi' - 19^\circ 12' 23''.046)$			
$\varphi_4 = 19^\circ 12' 22''.926$	$\varphi' - 19^\circ 12' 22''.926$	$2(\varphi' - 19^\circ 12' 22''.926)$			el valor más probable $\varphi' = 19^\circ 12' 23''.7345$

Tabla 4.21

### 3.12.9 El valor más probable de la media pesada

La probabilidad combinada de ocurrencia sucesiva (o simultánea) de las discrepancias  $V_i$ , en el mismo orden en que ocurrieron las observaciones  $L_i$ , con pesos relativos  $P_i$ , esta dada por el producto de las probabilidades individuales correspondientes:

El principio de los mínimos cuadrados pesados se establece matemáticamente:

$$L = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot L_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \mu_p$$

1. El valor de  $L$  que hace mínima la suma del cuadrado de las discrepancias pesadas es aquel igual a la media pesada  $\mu_p$ .

2. Si  $L = \mu_p$ , entonces:

$$P_i V_i = P_i (L_i - 1) = P_i (L_i - \mu_p) = P_i \text{ ó } R_i$$

Las discrepancias pesadas son numéricamente iguales a los residuos pesados.

### **3.12.10 El Ajuste por mínimos cuadrados del programa GEOLAB**

El ajuste por mínimos cuadrados en GEOLAB genera sólo una coordenada en cada componente (X, Y, Z) para cada sitio, obteniendo el valor más probable basado en el algoritmo de mínimos cuadrados.

El ajuste libre reporta la consistencia interna de la red sin tomar en cuenta el efecto de fijar los puntos conocidos. Los objetivos de este tipo de ajuste son identificar vectores con problemas, los cuales pueden ser eliminados o reprocesados.

El ajuste fijo determina las coordenadas finales de la red medida con el posicionador del GPS y se realiza después de que el ajuste libre cumpla con los estándares de calidad y precisión. Sus objetivos son fijar los puntos conocidos para determinar cómo afectan las estadísticas y los errores al obtener las coordenadas ajustadas definitivas.

### **3.12.11 Análisis del archivo \*.LST del ajuste de GEOLAB (ver anexo 1)**

En el archivo LST donde podemos ver los resultados del ajuste. El archivo tiene cinco partes, en las cuales se resumen los resultados siguientes:

El mal cierre lineal de la red o un conjunto de vectores.

Los parámetros conocidos y desconocidos utilizados por el algoritmo para realizar los cálculos del ajuste: la corrección a las coordenadas leídas del primer proceso (PNAV o GPPS) exponiendo los residuales de cada coordenada.



Las coordenadas ajustadas de cada estación procesada.

Una síntesis estadística con los residuales: el residual estandarizado y las partes por millón de cada vector.

Y por último un resumen estadístico, un histograma, un cuadro con las pruebas utilizadas, y las regiones de confianza de cada vector.

El número de grados de libertad. Este número equivale a la cantidad de observaciones redundantes del ajuste. Es importante que se verifique el número de grados de libertad (DEGREE FREEDOM) con la finalidad de encontrar incongruencias entre el número de vectores que realmente deberían incluir en el ajuste y los que está incluyendo. Se obtiene la diferencia entre el total de observaciones y parámetros conocidos (INEGI.1996. Instructivo de procesamiento y ajuste de información geodésica. 83).

Los grados de libertad representan en cierta manera el tamaño de la muestra o de las muestras implicadas en una prueba... (Ebdon...1982 Op.cit. p.29)

La desviación estándar es obtenida de otro archivo llamado GPS; se genera en el proceso previo a partir del archivo observaciones "O".

La desviación estándar del residual se obtiene de la diferencia entre el archivo GPS y la observación calculada.

El residual estandarizado se calcula entre la desviación estándar y el residual de cada vector.

Las partes por millón (PPM) son obtenidas del residual en el semieje mayor de la elipse y la longitud de la línea base multiplicada por un millón.

El componente de un vector estará marcado cuando el valor en la columna residual estandarizado sea mayor al valor obtenido por la prueba TAU – MAX. Es una medida de alerta sobre la posibilidad de que existan errores de operación (no aleatorios) en ese vector (INEGI...1996. Op.cit: 84).

Un componente marcado no significa necesariamente que el vector es malo; se requiere revisar el residual y la desviación estándar a priori de ese componente. Además es necesario revisar su interrelación con otros vectores para determinar si es un vector con errores no aleatorios.

Analizar vectores cuyos componentes contengan altos residuales y desviación estándar a priori.

Cuando se va a eliminar un vector debe haber una razón, que puede ser: un error medio alto con relación al tamaño del vector, el tipo de solución parcial cuando no alcanza el 95% de confiabilidad, la información cruda ruidosa y con saltos de ciclo o pérdidas de señal continuas.

El histograma de residuales representa la distribución normal de los residuales. Todos aquellos residuales fuera de la campana de GAUS son errores aleatorios, pero también pueden ser errores sistemáticos; con ello se puede identificar errores en las observaciones. “La distribución normal es la distribución de la probabilidad más importante en estadística. Constituye la base de un grupo de pruebas estadísticas, llamadas técnicas paramétricas (ver gráfica anexo 1).

La distribución normal es simétrica y tiene la campana de GAUSS. En esta escala el punto medio es la media aritmética, o sea el promedio de los valores, como se mencionó anteriormente.

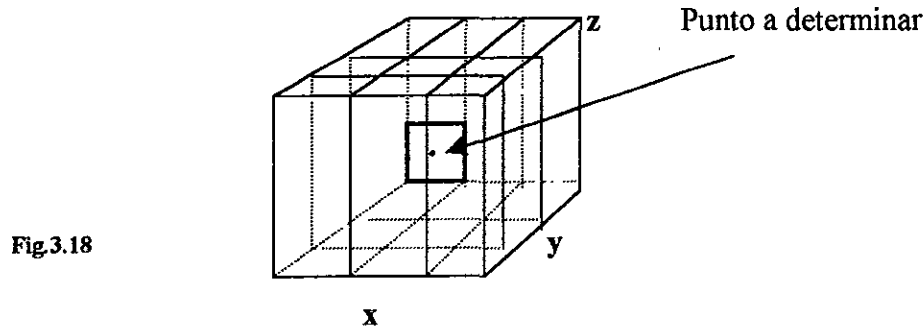
Ajustar una distribución normal a un conjunto de datos es la expresión que se utiliza para describir el proceso de comparar la distribución observada de los datos con una distribución normal.

Para ver gráficamente la posición puntual o la distancia más probable de un vector, se utilizan varias figuras geométricas: las elipses de error tienen esa función. Teóricamente, todos los residuales de las observaciones —si tienen buena precisión— caerán dentro del área de la elipse; entre más pequeña sea la elipse más precisa es la observación y mayor confianza estadística tiene (Fig. 3.18).

Las desviaciones estándar de sigma x, sigma y, sigma z, de un punto, se distribuirán en cualquier dirección de los ejes X Y o Z, y en esas direcciones pueden calcularse de la matriz de covarianza.

Como se vio, la desviación estándar es una medida de dispersión que estima los errores o residuales con respecto al valor más probable, y teóricamente representa el 68 % de probabilidad de que ese

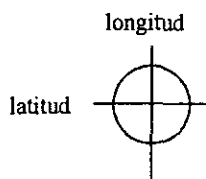
valor sea el verdadero. Además representa la mitad de las dimensiones del error de la elipse sobre el punto.



La matriz de la fig.3.17 es co-variante. En esta matriz el punto está dentro del espacio vectorial, y en cada lectura o iteración el cubo matricial se aproxima al punto de tal manera de que si cambia  $x$ , cambia  $y$  y también  $z$ . El cubo mínimo al que puede aproximarse, es el nivel de confianza, el error mínimo o mínima desviación del punto real. Todo ello se realiza a través de muchos pasos o iteraciones llamados grados de libertad (Ramos... 1999. Apuntes de Geodesia Satelital).

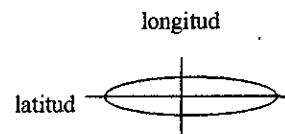
La distribución de los errores aleatorios alrededor del punto no tienen la misma orientación sobre XY. En una distribución normal teórica sobre el semieje mayor de la elipse estarán distribuidos los errores o residuales más grandes y sobre el semieje menor los residuales más pequeños (regiones de confianza del archivo LST). “De acuerdo con la teoría de los errores del número de grados de libertad en el ajuste hay aproximadamente un 95 % de probabilidad de que los puntos ajustados estén dentro de la elipse de error estándar” (Steeves, Et.al. 1963. *Statistical post - analysis of least squares adjustment results*: 64). En GEOLAB se utiliza el 95 % de probabilidad, el cual es un nivel de confianza alto.

Elipses pequeñas en centímetros



Buen levantamiento

Elipses con errores en metros sobre la latitud



Levatamiento con gran error en latitud

Fig.3.19

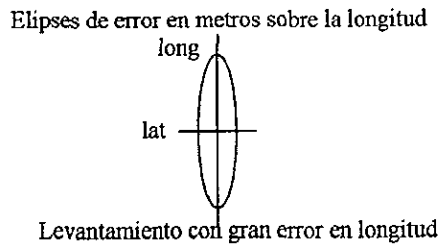


Fig. 3.20

La elipse de desviación estándar es una medida que resume la dispersión de una estructura de puntos en forma de elipse. La elipse está centrada sobre el centro medio, con su eje mayor (latitud) en dirección de la dispersión máxima y su eje menor (longitud) en la dirección de la dispersión mínima. El tamaño, forma y orientación de la elipse de error de una estación depende de la precisión de las observaciones y de la geometría de la red. Es posible estimar las precisiones a priori de un levantamiento de acuerdo a una red propuesta.

En el anexo 2 se muestran los resultados de un levantamiento topográfico con Estación Total<sup>25</sup>. Comparando los resultados obtenidos con los del posicionador del GPS (Fig.3.19) podemos ver las diferencias en el cálculo de distancias. En el caso del GPS la precisión en el cálculo de la distancia lineal tiene un error de 1 centímetro en 500 metros. En el caso de la estación tiene una precisión parecida. Como se puede advertir en la tabla 3.22, la máxima diferencia es de milímetros y la mínima de centésimas de milímetro, lo cual comprueba en parte las precisiones de los aparatos.

Est.	P.V	Estación Total	GPS	Diferencia
C001	1002	27.6380m	27.639m	0.00093m
C001	1003	33.9977m	33.999m	0.0013m
1002	1003	27.29024m	27.292m	0.00176m

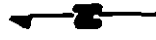
Tabla 3.22

<sup>25</sup> Estación Total es un aparato topográfico que consta de un dispositivo para medir electromagnéticamente la distancia y ángulos entre dos sitios, además tiene instalado un nivel controlado electrónicamente para determinar también el nivel entre puntos.

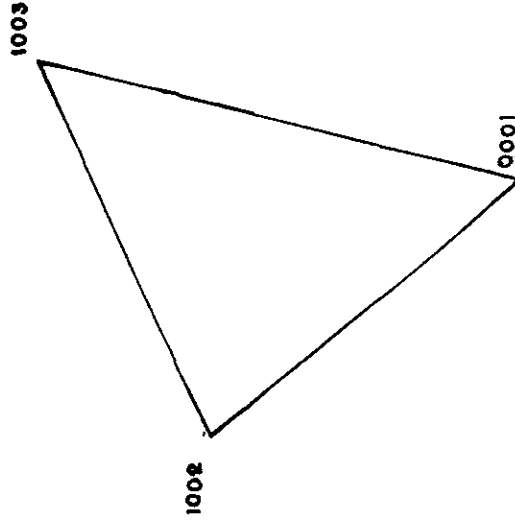
Por otro lado, en el plano (Fig.3.20) de representación de la práctica con estación total el levantamiento se realizó utilizando el acimut magnético, que difiere en  $3^{\circ} 38' 21''$  con respecto al acimut geodésico obtenido con el posicionador del GPS

Son éstos algunos de los elementos prácticos que se utilizan en el trabajo de campo de un levantamiento con equipo del GPS. Con GEOLAB se obtienen las coordenadas de cada uno de los puntos medidos y distancias dentro de un ejido; el siguiente paso en el operativo del PROCEDE es entregar la información a los departamentos de geodesia de los estados, para que ellos, en otra etapa, elaboren los planos de los ejidos, de sus parcelas y solares.

DIAGRAMA DE CALCULO DE UN LEVANTAMIENTO CON POSICIONADOR DEL GPS



Est	N	E	H	D	Az
0001	2182640.48m	481819.106m	2239.914m		
1002	2182661.95m	481602.303m	2239.246m		
1003	2182673.41m	481627.431m	2239.299m	27.292 m	321°27'06"
0001 1002				33.999 m	014°11'12"
0001 1003				27.639 m	065°28'49"



19° 28' 05"

99° 10' 30"

Fig. 3.21

# UNAM

Fac. Filosofía y Letras

Col. de Geografía

Distrito Federal 09

Azcapotzalco 002

INEGI Cuiclahuac 001

Levantamiento con GPS

## Simbología

Est.	Estación
N	Coordenadas UTM
E	Latitud Norte
H	Longitud Este
Az	Altura Elipsoidal
D	Acimut
N	Distancia
	Norte
	Paralelo del lugar
	Meridiano del lugar

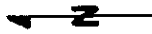
Escala 1:500

Escala Gráfica



Fecha de elaboración 19-Feb-1999

DIAGRAMA DE CALCULO DE UN LEVANTAMIENTO CON ESTACION TOTAL



Est	P.V	$\kappa$	$\lambda$	0	0	D	Az
0001	1002	0.7731635		8°34'40"5		27.2815m	317°48'47"
0001	1003	1.546		52°13'51"		33.993m	
1002	1003	1.4881621		78°29'10"3		27.634m	
1003	1002	1.6301632		61°17'34"7		33.994m	

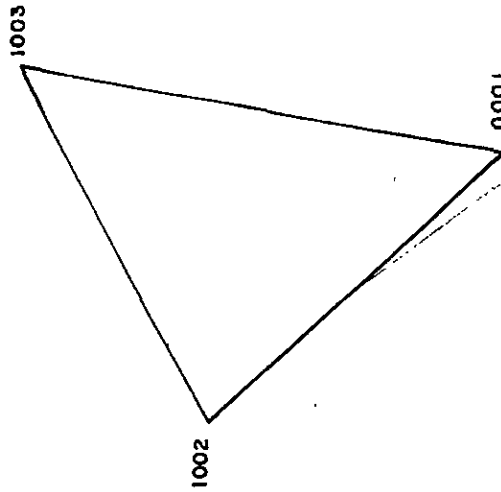


Fig. 3.19

# UNAM

Fac Filosofía y Letras

Col. de Geografía

Distrito Federal

09

Azacapozalco

002

INEGI Cuiclahuac

001

Levantamiento con Est. Total

## Simbología

Est.	Estación
P.V.	Punto Visado
$\kappa$	Altura del Aparato
$\theta$	Angulo Horizontal
$\psi$	Altura Central
Az	Acimut
D	Distancia
N	Norte
$\lambda$	Altura del Prisma

Escala 1:500

Escala Gráfica



Fecha de elaboración 10-Feb-1999

**Capítulo IV**  
**Conclusiones y propuestas**



#### 4.1 Sumario

En el capítulo anterior se llegó hasta la obtención de las coordenadas de los sitios de un ejido. Pero la elaboración del plano de un ejido también es un proceso automatizado donde sólo se necesita aplicar otro programa de cómputo. Ello significa que todo el proceso de producción de la nueva cartografía del país y los ejidos es automatizado.

Dentro de esta automatización no todo se resuelve por programas de cómputo o algoritmos. Existe el personal de campo y de oficina que hace posible el funcionamiento de la máquina. En dos capítulos, hasta aquí se ha querido mostrar el panorama técnico – operativo. A manera de conclusión se expondrá a continuación parte de la problemática que se vive en campo y que por supuesto es el complemento indispensable de lo visto en el trabajo.

#### 4.2 Transversa Modificada ejidal: Meridiano Central Optimo

Reflejar la realidad con fidelidad en un mapa o plano es un problema técnico práctico bastante difícil de resolver, y más aún cuando existe la necesidad de representar en mapas las condiciones geográficas complejas a través de proyecciones (INEGI. 1997 “Transversa Modificada Ejidal: Meridiano Central Optimo”: 1).

Los cálculos numéricos —dicen un documento del INEGI— que se deriven a partir de las coordenadas en proyección UTM, tienden a deformarse con excepción de los ángulos. Las superficies calculadas en este sistema de proyección no reflejan la realidad. Hay otro problema, ya que “... desde el punto de vista del usuario, requerirá el auxilio de un especialista en la materia, que en nuestro país son contados, para interpretar la información plasmada en los planos...”

(INEGI 1997. *Ibidem*: 2).

En ejidos que se encuentren lejos del meridiano central de la zona UTM, el cálculo matemático de superficies, si se hace a partir de las coordenadas UTM, no tendrá equivalencia con la superficie real

del predio medido, ya que sólo se conservan los ángulos por ser una proyección conforme, a menos que se utilice una proyección equivalente donde se conserven las superficies.

Pero la proyección UTM es la que se utiliza oficialmente, y es en ella donde se debe buscar un mecanismo para evitar lo menos posible la deformación de las superficies de los ejidos.

“Del análisis del problema y de las alternativas viables de solución, se propone el uso de una proyección conforme, modificándola para cada caso específico, lo que daría por resultado la característica de quasi equivalente” (INEGI...1997. *Ibidem*: 2).

“Con el propósito de minimizar los efectos deformantes de la proyección UTM, y buscando ante todo no violentar las Normas Técnicas emitidas por el Registro Agrario Nacional (RAN), se llegó a la propuesta de trabajar con una proyección transversa modificada, la cual se propone llamar Transversa Modificada Ejidal (TME) en la cual se determine la posición del meridiano central de proyección, cuya denominación se propone sea meridiano central ejidal (MCE), de forma tal que los efectos deformantes de la proyección sean mínimos. La única modificación que hay que considerar es tomar el mismo origen que en la proyección UTM” (INEGI...1997. *Ibidem*: 4).

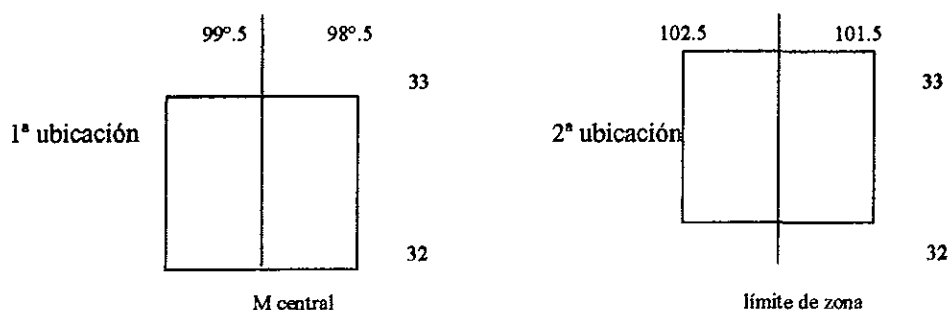


Fig. 4.1

Como apoyo a la propuesta anterior se calculó la superficie de dos cuadriláteros de un grado de latitud por uno de longitud en zonas distintas; una atravesada exactamente por el meridiano central y la otra en el límite de la zona de proyección UTM.

También, a fin de tener un marco de comparación se realizó el mismo cálculo con la proyección equivalente de Albers. En las dos tablas podemos observar como la proyección equivalente de Albers no tiene diferencia en el calculo de la superficie. En cambio, en la tabla 4.2 el cálculo con la proyección UTM tiene una diferencia entre una zona y otra de 20 424.338 m<sup>2</sup>, y con la proyección equivalente de Albers de hasta 12 134.196m<sup>2</sup>

Proyección	ALBERS	UTM	Diferencia UTM
1ª ubicac	10 421 392.8	10 413 102.740	8290.142
2ª ubicac	10 421 392.8	10 433 527.078	12134.196
Diferencia	00	00 020 424.338	

Tabla 4.1

Proyección	ALBERS	TME	Diferencia TME
1ª ubicac	10 421 392.8	10 421 483.22	90.341 m <sup>2</sup>
2ª ubicac	10 421 392.8	10 421 483.22	90.341m <sup>2</sup>
diferencia	00	00	

Tabla 4.2

En el caso de la tabla 4.2 de una zona a otra desaparece la diferencia utilizando la Transversa Modificada Ejidal y se reduce considerablemente la diferencia con la de Albers.

En nuestro caso, como brigadas de campo estamos un poco ajenos a los resultados de nuestro trabajo. Pero el asunto del cálculo de la superficie de un ejido nos involucra para dar una opinión al respecto.

Como vimos en 2.7, las proyecciones cartográficas tienen limitaciones, en virtud de que se pretende representar una superficie casi esférica sobre un plano, lo cual induce a deformaciones inherentes al proceso de proyección.

El usuario requerirá de un especialista para interpretar la variación entre el cálculo y lo expresado en el plano.

En este caso los usuarios son ejidatarios que quieren saber exactamente que cantidad de tierra tiene su ejido, parcela o solar. Los errores en cálculos de la superficie provocados por la proyección deben corregirse si son graves.

Ahora bien, independientemente de la interpretación del especialista la diferencia entre el cálculo y la realidad seguirá existiendo. Porque, aunque parezca que con la interpretación del experto la diferencia desaparece esto nada tiene que ver con el cálculo. A menos que se corrijan los cálculos desde la “Cartografía matemática tradicional”.

Una propuesta como la que se sugiere requiere un estudio más serio, fundamentada más profundamente con ejemplos concretos del cálculo de algún ejido, una parcela o un solar.

La propuesta de emplear un sistema UTM modificado con un Meridiano Central Ejidal es válida en primera instancia, ya que una de las ventajas del sistema de proyección UTM es que deja libre la elección de la longitud geodésica del meridiano central y el factor de escala central Blachut, T.J. et.al. 1980. *Cartografía y levantamientos urbanos*: 73). En el entendido de que con esta modificación el Meridiano Central Ejidal pasará en el centro o cerca del centro del ejido, con cual la deformación por el factor de escala central será prácticamente nula. Así el cálculo de distancias será más efectivo de acuerdo a los principios cartográficos de la distancia y ángulos de la proyección conforme.

Pero, aun y cuando se utilice un Meridiano Central Ejidal, la proyección seguirá cumpliendo con los mismos principios de la proyección UTM, únicamente modificada para las necesidades de cálculo de superficie de los ejidos. Y por tanto, seguirá siendo una proyección conforme y no cuasi equivalente como lo sugiere el artículo en discusión.

### **4.3 Desarrollo del operativo en campo: Problemática**

Hay estados de la República como Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Veracruz y Tabasco, donde los factores climáticos y topográficos son problema constantes para realizar los trabajos topográficos de medición con GPS. Son zonas muy lluviosas y húmedas. Cuando hay sol se alcanzan temperaturas y evaporaciones extremas. En tales condiciones el funcionamiento del equipo del GPS tiene problemas: hay momentos cuando se congela todo el equipo no capta señal o no quiere bajar información hacia las computadoras. Algunas veces se pierde la información y el trabajo. También en este sentido son cuestionables los resultados de la información obtenida, aunque trabaje bien el equipo. Ya que, como se verá más abajo, hay datos meteorológicos que no se aplican.

La secuencia como se realiza el trabajo para una brigada de apoyo, es muy distinta al diagrama de flujo (secuencia oficial, cap. 4.4). Se da con el orden siguiente: primero medir los ejidos que tienen una fecha compromiso de fin de medición, eso responde a una programación original. Después en orden de importancia; se continua por la medición de las líneas de control azimuthal, puntos de precisión, PATS, y al final puntos al interior. Estos últimos, en la mayoría de los casos, son puntos de perímetro, o de parcelas dispersas que se han venido quedando o que no se han podido medir. Otros, la mayoría están dispersos, rodeados de vegetación o de difícil acceso. Las brigadas de geodesia hacemos mediciones terminales, es decir, entramos a los ejidos a corregir detalles. No aplicamos la secuencia de planeación según el cap. 4.4.1.3.

### **4.4 Las brigadas de geodesia del D.F. afinan la información**

Para los que trabajan en campo, se sabe que no es lo mismo medir desde un principio y programar en función de todo un ejido, que en función de detalles. Asimismo, se sabe que no es igual medir líneas de control, puntos de precisión o PATS que medir al interior; como tampoco es lo mismo medir puntos dispersos o parcelas dispersas, que vértices juntos unos de otros, independientemente de las condiciones del terreno.

Como las mediciones de geodesia son terminales, la mayoría de ejidatarios están cansados o hartos de participar en la medición. Por tanto su apoyo para las brigadas que llegan al último se da en menor medida que para las primeras. Esta situación dificulta el trabajo y movimiento de los equipos, puesto que se necesita el apoyo de los ejidatarios por ser ellos quienes conocen su ejido.

En términos de producción, las cifras no son reveladoras de la productividad de un equipo, un individuo o una brigada.

Revisando las bitácoras se encontrarán grandes diferencias entre los resultados obtenidos de un equipo y otro. Dos brigadas dentro de un mismo ejido medirán de diferente manera de acuerdo al tipo de punto y las condiciones de localización del mismo. Un equipo que realiza de uno a cinco vértices dispersos alejados del asentamiento humano y en zona montañosa, su producción será cualitativamente hablando igual a la de aquel equipo que haya medido 35 o 50 vértices ese mismo día en una zona plana.

El tipo de terreno propicia diferencias en cuanto al tiempo que se ocupa para medir: en terrenos regulares se ocupa de 30 y 60 minutos en localizar un vértice; por el contrario en terreno accidentado y montañoso el tiempo de localización aumenta de 4 a 10 horas. También la recepción de la señal satelital es difícil; muchas veces se debe esperar mucho tiempo para tener mejor recepción y en algunos casos nunca se logra tener.<sup>1</sup>

Cuando un vértice se ubica en zonas arboladas, entre cañadas, taludes o bordes de cerros que interrumpen la señal. Se visita el punto pero la medición tiene muchas dificultades. Se elabora el registro de obstrucciones, y se visita por segunda vez en un horario especial, normalmente de madrugada (coincidentalmente en estos horarios hay mayor número de satélites disponibles).

---

<sup>1</sup> Hay lugares de Chiapas o Oaxaca donde las mojoneras de deslinde están ubicadas en el fondo de las cañadas de los ríos, rodeadas por montañas y cubiertas por vegetación, donde el número máximo de satélites que logra captarse es dos o tres <sup>2</sup> En estos casos, aunque se calcule una planeación de misión, a ninguna hora del día será posible captar 4 satélites para poder dar posición.

Cuando el trabajo se realiza en tiempo de lluvias los caminos se encuentran enlodados y dificultan el desplazamiento hacia los ejidos. Los arroyos están crecidos y puede ser difícil o imposible cruzarlos. Hay mucho lodo, y se camina con dificultad. El equipo se maltrata con la humedad, lo que ocasiona pérdida de tiempo y desgaste.

#### **4.5 Condiciones ideales para realizar el trabajo con equipo del GPS**

Topografía del terreno plana.

- Buena accesibilidad vehicular hacia las parcelas donde se localizan los vértices.

Concentración de los vértices en zonas continuas.

- Conocimiento del terreno.
- Contar con el apoyo de los ejidatarios como guías y para acondicionar los puntos.
- Condiciones climáticas favorables parecidas a las que se manejan de por sí en los programas del proceso.
- Contar con el buen horario disponible para medir, es decir con suficiente número de satélites disponibles.

Acondicionamiento de vértices con ventanas para alcanzar los 15° sobre el horizonte.

La mayoría de estas condiciones son los elementos que se consideran para análisis de anteproyecto y para la elaboración del proyecto de medición con GPS (cap.4.4.1.1). Son condiciones óptimas y observamos que quizá al principio del programa había ejidos con condiciones parecidas.

Actualmente la situación ha cambiado, los ejidos restantes presentan condiciones adversas, y se debe trabajar con éstas hasta que se termine el programa. Por tal motivo, se proponen las estrategias de medición siguientes:

## 4.6 Estrategias de medición con posicionador del GPS según las condiciones del terreno

### 4.6.1 Estrategia 1 para terrenos con condiciones abruptas y de difícil acceso en:<sup>2</sup>

- ✓ Zonas con monte alto, sobre parte aguas de montaña, ladera de montaña y cerros.
- ✓ Zonas con monte alto sobre la rivera de río, arroyo o barranca.
- ✓ Zonas con árboles frutales o maderas preciosas en las laderas de montaña.
- ✓ Zonas con vegetación alta y alejadas de los centros de población.
- ✓ Zonas urbanas con árboles frutales o viviendas de dos niveles.

ESTRATEGIA 1 PARA SESIONES ACCIDENTADAS					
Método de medición	Tiempo de sesión	Vértices de perímetro	Equipo	No. de equipos	Programa de control
	1 a 6 horas		PXII, Z		

Tabla 4.3

Para este tipo de zonas normalmente la estrategia de medición responde no tanto a la precisión que se desee alcanzar, sino a necesidades prácticas que garanticen un levantamiento exitoso. En este tipo de zonas es casi seguro una interrupción constante de la recepción de la señal, captando un número mínimo de satélites. Por ello normalmente se seleccionará el método de medición más seguro que es el estático, con tiempo mínimo de sesión que puede ser desde una o varias horas hasta garantizar que la medición será exitosa.

### 4.6.2 Estrategia 2 para terrenos en ladera con pocos obstáculos de interferencia de la señal satelital en:

- ✓ Zonas en laderas de montaña o cerros con monte bajo.
- ✓ Zonas en laderas de montaña o cerros sin monte.
- ✓ Zonas de cañadas poco profundas con monte bajo.
- ✓ Zonas planas con selva baja permanente.



En estas zonas, las condiciones del terreno cambian para favorecer la recepción de la señal satelital los métodos de medición pueden ser estáticos o cinemáticos. Y los tiempos mínimos por sesión serán de 30 minutos.

ESTRATEGIA PARA SESIONES REGULARMENTE ESTABLES				
Método estático rápido	Tiempo de sesión 10 minutos a 1 hora	Vértices de perímetro	Equipo tipo PXII, ZXII, DIME	No. equipos 3

Tabla 4.4

#### 4.6.3 Estrategia 3 para terrenos planos sin obstáculos que interfieran la señal satelital

##### Montaña sin árboles cercanos al núcleo de población.

- ✓ Zonas laderas de montaña y lomerios sin árboles.
- ✓ Zonas planas sin vegetación.

En este tipo de terrenos se amplía el abanico de posibilidades de medición, se puede utilizar cualquier método o tiempos mínimos de sesión por vértice.

ESTRATEGIA 3 PARA SESIONES ESTABLES				
Método de medición estático rápido, cinemático, pseudo	Tiempo de sesión 1 hora	Vértices de perímetro solares	Tipo de equipo F DIME.	No. de equipos 2 o 3

Tabla 4.6

#### 4.7 Propuesta para el análisis de la información del posicionador del GPS en campo

Con lo expuesto hasta aquí, tanto en este capítulo como en los anteriores, y sumando la experiencia de 4 años en la práctica en la operación de equipos del GPS, se propone lo siguiente:

La mayoría de las personas que participan en los operativos de Geodesia dentro del PROCEDE han acumulado experiencia en el uso y manejo del equipo del GPS, sin embargo hay una serie de detalles que impiden un mejor funcionamiento.

1. En la pantalla No. 1 del equipo Z12 normalmente se analiza según lo visto en el cap. 4.5.3. Lo que algunos ignoran es que esta pantalla tiene tres subpáginas que son la 1, P1 y P2. Al encender el receptor, la página 1 es la que se activa de por sí, y es en esta página donde normalmente se analizan los valores de la calidad de la señal satelital. Pero no se había tomado en cuenta que dichos valores están alterados porque son un cálculo mejorado, al utilizar la información de las otras dos páginas. Es decir, no son los valores reales de la calidad de la señal recibida.

Si se comparan los valores de la página 1 contra los valores de las otras páginas, se verá que los valores de la primera siempre son mejores a los de las otras dos.

De acuerdo a lo anterior, en la pantalla 1 el valor del renglón CNT indica estabilidad y los saltos de ciclo en la recepción de señal, y por tanto este parámetro es utilizado por la tarjeta de navegación del receptor para el cálculo de las ambigüedades por canal y satélite. El tiempo previo, antes de que el receptor fije la señal del satélite (CNT 99), calcule el número de ciclos enteros y resuelva las ambigüedades (cap.4.7.1) es un período de inestabilidad durante el cual no se podrá calcular la posición del satélite, consecuentemente la información recabada durante este período no sirve para el proceso sea con GPPS o PNAV(cap.3.8).

Cuando se está empleando un método cinemático de medición (cap. 4.4) y se observa que cinco satélites alcanzan el valor CNT 99 en la página 1, se inicia la medición. Pero no se cuida que este valor también lo alcancen las páginas P1 y P2, que son los que se utilizan para procesar.

La información de la pantalla 5 del receptor ZXII nunca se había utilizado en campo. Ni se sabía que también tiene dos páginas. La primera sirve para trabajar en modo diferencial al calcular ambigüedades (cap.3.7.1). La segunda, muestra un rango de errores residuales por el cálculo de la posición de cada satélite y un error en el cálculo de la posición horizontal y vertical del punto que se está midiendo. Por época se están calculando diferencialmente los parámetros para resolver las ecuaciones (capítulo 3.7.2) de posición, tiempo y pseudo rangos. El renglón RES indica un residual con respecto a la mejor solución de ambigüedades que calculó el receptor para dar posición de la órbita del satélite desde que logró estabilizar la señal (CNT99 hoja P1-P2 pantalla1). El cálculo de los residuales no se mantiene constante puesto que se calcula por época, y cambia conforme varía la calidad de la señal (pantalla 1).

Si hay pérdida de la señal o un salto de ciclo, los residuales cambian bruscamente, ello indica inestabilidad en la recepción o mala recepción. En contra parte, si el valor de los residuales se mantiene uniforme significa estabilidad en el proceso de cálculo.

La pantalla 9 tiene varias columnas y renglones con datos de temperatura, humedad y presión, a los cuales nunca se les introduce un dato. Los cálculos que realiza la computadora para corregir los errores atmosféricos, tomando en cuenta los modelos de corrección ionosférica y troposférica (cap. 3.7.7) siempre utilizan las constantes de 20° C temperatura, 50% humedad relativa y 1010 milibares de presión atmosférica. Aunque no se dispone de información que indique en qué grado afecta el cálculo de la posición de un vértice si se introducen o no datos atmosféricos al receptor.

Por sentido común y práctica (cap.3.6.5) ya que los receptores trabajan en condiciones atmosféricas extremas, se puede afirmar que dichos factores sí influyen, puesto que las condiciones atmosféricas son factores de error en la recepción de la señal satelital.

Una buena medida para corregir esa anomalía sería tomar la temperatura, presión y humedad relativa al momento de realizar una medición. O cuando menos obtener información meteorológica del día

de alguna estación meteorológica cercana a la zona de medición, como se realiza cuando se hace un levantamiento geodésico “tradicional”(Cap. 2.6).

En síntesis, para los métodos cinemáticos que utilizan el código P se pueden seguir las siguientes recomendaciones para determinar la calidad de la información desde campo.

- ✓ Siguen siendo válidos los procedimientos del capítulo 3.3, siempre y cuando se utilice la información de las páginas P1-P2.
- ✓ Analizar los valores de los residuales y el error en la posición de la pantalla 5, página 2. Si son constantes significa estabilidad y por tanto una buena medición. Si hay cambios bruscos en los valores significa una señal inestable o de mala calidad, se necesita dar más tiempo, el que sea necesario a la sesión hasta tener estabilidad.

En cuanto al pos proceso, el cálculo de las pruebas estadísticas en el proceso dependen de los valores de la calidad de la información (pantalla 1), del residual diferencial (pantalla 5), y de los valores de las condiciones atmosféricas (pantalla 9), del modelo ionosférico y troposférico, tomar dichos valores con mayor cuidado. Sin duda los resultados (cap.3.9) como el error medio cuadrático o la desviación estándar de las coordenadas XYZ serían de mayor grado de exactitud.

Valores que se pueden analizar desde campo para determinar la calidad de la información recabada a lo largo de una sesión.

Es difícil exponer conceptos, que entre los estudiantes y egresados se consideran “mitos”, cuando no se tiene una buena formación académica. Se necesita del apoyo de los libros y del maestro. Como cuando se aprende a caminar, éste es sólo el primer paso. Avanzar y profundizar con mayor detalle en el conocimiento de la Geografía, la Geodesia, la Cartografía y el GPS es un siguiente paso a dar.

#### **4.8 El curriculum del geógrafo: conclusión**

Respondiendo a la hipótesis que guió este trabajo. El desarrollo de los capítulos es la prueba de que el curriculum del geógrafo proporciona las bases mínimas para enfrentar un mercado laboral. Pero es necesario ampliar dichas bases; donde el contenido de las materias necesita una actualización ante los cambios tecnológicos de automatización en Cartografía y Geodesia, por el incremento de las bases de datos e información y por el desarrollo de los fenómenos geográficos en México y en el mundo. El geógrafo, en el transcurso de su proceso formativo y académico va desarrollando una conciencia espacial, complementada con una sensibilidad para captar los cambios en cualquier escala de los procesos geográficos. El contacto con la realidad es vital, porque estimula los sentidos y hace reflexionar sobre las transformaciones espaciales producto de la actividad humana y natural. Permite buscar respuestas concretas para una mejor organización territorial.

Independientemente de nuestras posiciones, afinidades o diferencias conceptuales, por necesidad se debe demostrar profesionalmente en la práctica que somos geógrafos y que nuestra ciencia ayuda a resolver problemas relacionados con el espacio que habitamos y que podemos desarrollar técnicas que ayuden a solucionarlos.

Si asumimos responsabilidades no podemos esperar todo a cambio de nada. Tenemos que contribuir al desarrollo de nuestra ciencia, romper los hilos de la dependencia científica, que impiden sentar las bases teóricas y técnicas propias; trabajar en la elaboración de teorías acordes con nuestra realidad, tarea que se ha cedido, por inercia, a los geógrafos de las metrópolis.

Desarrollar la geografía mexicana y romper con los hilos de la dependencia no significa aislarse, ni encerrarse en actitudes de chovinismo nacionalista o gremialista. Más bien es tomar libremente lo mejor de la teoría geográfica y científica universal, para conjugarlo con nuestras bases y desde una perspectiva distinta; entender mejor nuestro planeta y más particularmente nuestro territorio.

Asimismo, significa recoger los buenos hábitos de trabajo, estudio, razonamiento y organización del trabajo académico, científico e institucional. En una palabra, asimilar las bases para una buena formación, que eleve el nivel académico.

En suma, en el trazo del camino para mejorar las tareas de nuestra ciencia es necesario asumir otra actitud, que implica ser honestos, autocríticos y profesionales, en la búsqueda más profunda de las raíces de la geografía o cualquiera de sus ramas. Porque si detenemos el análisis en lo superficial, o si personalizamos los problemas, sin duda nuestras conclusiones serán erradas.

***Referencia***  
***Bibliográfica***

## Referencia Bibliográfica

### Capítulo II

Fernández Ch, Benjamín 1987 “El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) aplicado a la tectónica de placas” Cartográfica No. 51- 52: 271-203. IPGH.

Caire Lomeli, Jorge. “Gravimetría y mareas terrestres” Apuntes, Fac. Filosofía y Letras. UNAM, México 1998.

Langley, Richard B. 1991 “Geodesia básica para GPS”. Revista Cartográfica No. 59: 71- 92. IPGH.

Córdoba Rendón, Griselda. Control primario para la elaboración de cartas geográficas. Tesis de licenciatura, Fac. Filosofía y Letras. UNAM, México 1977.

Lehmann, Charles H. Geometría Analítica. 1ª. Reimpresión en Esp. U.T.H.A México 1980, p. 173,174.

Maling, D H. Coordinate Systems and Map Projection. George Philip, Londron England 1973.

Sosa Torres, Rafael. 1980. “Geodesia al alcance de todos”. Revista Cartográfica No. 38 1980: 7-57. IPGH.

Liddle Donn, A. 1990. “Determinación de alturas ortométricas por medio de GPS” Revista Cartográfica No. 58 : 23-63. IPGH.

Hoars J, Gregory. Topografía por satélite. Magnavox, Chile 1982.

Bonford, G. Geodesy. Oxford University Press. Great Britain, 1971.

Caire Vega, Luis Gabriel. Obtención del control terrestre para la elaboración de cartas geográficas. Tesis de licenciatura, Fac. Filosofía y Letras. UNAM México 1981.

Ayres Jr, Frank. Trigonometría plana y esférica. Mc Graw Hill. 1ª ed. en Español, México 1970.

Montes de Oca, Miguel. Topografía. Representación y Servicios de Ingeniería. México 1981.

Padilla Higuera, José Alberto. Serie de 50 ejercicios resueltos para la asignatura de Astronomía de Posición. Fac. Ingeniería, UNAM México 1984.



Caire Lomeli, Jorge. “transformación de coordenadas celestes”. Apuntes, Fac. Filosofía y Letra. UNAM México 1998-12-29.

Anuario astronómico 1981. Instituto de Astronomía, UNAM México 1981.

Caire Lomeli, Jorge. Proyección cartográfica para la República Mexicana. Fac. Filosofía Letras. UNAM México 1986.

Cartula Sánchez, N.J. Sistema de Posicionamiento Global. Ministerio de Obras Públicas, Instituto Geográfico Nacional, Madrid España 1986.

INEGI. “Manual de conceptos básico”. INEGI, Aguascalientes México, 1996.

INEGI. “Transversa modificada ejidal”. INEGI, Aguascalientes México, 1997.

Maiztegui, Alberto. Física II. Ed. Kapeluz 1ª Ed. Argentina 1972.

Malys, Stephen. Et.al. 1995. “PPS and SPS integrity and independent global tracking network”.

Revista Cartográfica No. 62: 133-146 IPGH.

Malys, Stephen. 1995. “Precise timing application and de Mapping Defense Agency”. Revista Cartográfica No. 63: 187-193 IPGH.

INEGI. La nueva Red Geodésica Nacional 1994. INEGI, Aguascalientes México 1994.

Muller I, Ivan. 1985. “Earth Rotation and the Terrestrial Reference Frame”. Cartográfica No. 47-48: 87-114 IPGH.

Diario Oficial de la Federación. Normas Técnicas para levantamientos Geodésicos 1998. México 1998, abril 27: 8.

Gaceta informativa No. 2. “Modelo Geoidal México 1997”. INEGI, Aguascalientes México 1997.

INEGI Calendario GPS 1998. INEGI, Aguascalientes México 1998.

### **Capítulo III**

Merlan Chávez, Bernabe. El proceso de generación de la cartografía ejidal elaborada por el INEGI, en función del PROCEDE. Tesis licenciatura, Fac. Filosofía y Letras. UNAM México 1995.

Gaona Banda Ma. Virginia. El Sistema de Posicionamiento Global utilizado con fines geográfico. Tesis, Fac. Filosofía y Letras. UNAM México 1995.

Diario Oficial de la Federación. Normas técnicas para levantamiento Geodésicos 1998. México 1985, abril 1: 13-42.

31. Diario Oficial de la Federación. Normas técnicas para el levantamiento de las tierras ejidales. México 1995.

INEGI. Metodología para la medición de puntos de apoyo terrestre. INEGI, Aguascalientes México 1996

INEGI. Manual de la brigada de geodesia. INEGI, Aguascalientes México 1996.

INEGI. Instructivo de procesamiento y ajuste de información geodésica. INEGI, Aguascalientes México 1996.

Carballar Falcón, José. Software y Hardware de su PC. Addison-Wesley Iberoamericana Wilmington, Delaware E.U.A 1994.

Hadley, G. Linear programming. Addison-Wesley Publishing Company. E.A 1963.

Wells, et.al. Guide to GPS positining. (Glossary) Canadian GPS Associates. 1986. pp.1.

Ashtech. Geodetic and Hidrographic survey. Ashtech Company, Ontario, Canada 1992.

SIGSA. Conceptos de Geodesia Satelital. Sistemas de Información Geográfica S.A. México 1995.

INEGI. PNAV versión 2.1. INEGI, Aguascalientes México 1995.

Ashtech. GPPS Post-Processing Sistem. Ashtech, INC. Ontario, Canada 1991

Ashtech PNAV Precise Diferencial GPS Navegation and Surveying. Ashtech, INC. Ontario, Canada 1995

IPGH. Manual de normas y especificaciones para levantamientos Geodésicos de alta precisión en áreas pequeñas. IPGH PUB. 425, México 1987.

Ebdon, David S. Estadística para Geógrafos. Ed. OIKOS-TAU. Barcelona España, 1982.

Sosa Torres Rafael. Ajuste por mínimos cuadrados. IPN México 1985.

Fernández Ch Benjamín. "El concepto de mínimos cuadrados". Cartográfica No. 51-52. 1987. IPGH México 1987:19-28

Fernández Ch Benjamín. "La propagación de errores en las mediciones geodésicas". Cartográfica No. 47-48. 1985. IPGH México 1985: 115-154

Steeves Robin, R. et.al. Statistical post-analysis of squares adjustment results. Traducción parcial sin editorial y año.

Murray R. Spiegel. Probabilidad y Estadística. MC. Graw Hill. México 1976:372

Ramos, González Víctor Manuel. Apuntes de Geodesia Satelital. Inédito. 1999.

#### **Capítulo IV**

INEGI. "Transversa modificada ejidal: meridiano central optimo". INEGI. Aguascalientes México, 1997,

Blachut, T. J. et.al. Cartografía y levantamientos Urbanos. Springer-Verlag INC. 1979. 1ª Ed. Español, Dirección General del Territorio Nacional, México 1980.

***Anexo 1***  
***Archivos GPS***

-----  
 ARCHIVO CRUDO B DE LA ESTACION FIJA OAXACA DEL DIA 9 NOVIEMBRE 1998  
 -----

-----Page  
 -----

RECORD = 10 RECEIVE TIME = 140535.000000

SV	CH	WN	G	TXMTTIME	CDPHASE	DOPPL	CARRIER_PH	EL	AZ	S/N	DTYPE
17	1	0	24	0.9291	21250290	-54715210	58420257.795	51	128	88	L1
7	0	0.0000		0		0	-259348283.877	41		L2C	
23	2	0	24	0.9253	22380434	-75794290	17927145.953	40	30	78	L1
7	0	0.0000		0		0	-226496092.095	24		L2C	
3	3	0	24	0.9217	23462197	-71985770	171090901.765	23	274	42	L1
7	0	0.0000		0		0	-78932812.719	5		L2C	
21	4	0	24	0.9249	22501383	-87053890	189388692.069	37	342	78	L1
7	0	0.0000		0		0	-169389629.328	15		L2C	
25	6	0	24	0.9212	23611926	-106565500	140555343.028	23	196	52	L1
7	0	0.0000		0		0	-29351797.653	5		L2C	
9	8	0	24	0.9216	23492892	-48665130	11533285.422	22	48	52	L1
7	0	0.0000		0		0	-176936960.504	12		L2C	
29	9	0	24	0.9271	21853029	-81607660	96337099.854	45	268	82	L1
7	0	0.0000		0		0	-104811631.478	26		L2C	
8	10	0	24	0.9289	21312437	-71817650	-123324653.368	51	80	90	L1
7	0	0.0000		0		0	-217456897.836	38		L2C	
1	11	0	24	0.9293	21188958	-74630480	85894743.767	57	286	112	L1
7	0	0.0000		0		0	-125701170.167	45		L2C	

SITE	NAVX	NAVY	NAVZ	NAVT
OAXA	-713730.200000	-6058177.410000	1861790.390000	193956.726
PDOP	NAVXDOT	NAVYDOT	NAVZDOT	NAVTDOT
2	0.310	-0.440	0.080	0.000000

RECORD = 11 RECEIVE TIME = 140550.000000

SV	CH	WN	G	TXMTTIME	CDPHASE	DOPPL	CARRIER_PH	EL	AZ	S/N	DTYPE
17	1	0	24	0.9292	21234685	-54631160	58338248.283	51	128	90	L1
7	0	0.0000		0		0	-259476091.023	41		L2C	
23	2	0	24	0.9254	22358803	-75798160	17813451.688	40	30	80	L1
7	0	0.0000		0		0	-226673278.021	24		L2C	
3	3	0	24	0.9218	23441663	-71913250	170982977.500	23	274	44	L1
7	0	0.0000		0		0	-79101006.529	5		L2C	
21	4	0	24	0.9250	22476538	-87063210	189258104.467	37	342	80	L1
7	0	0.0000		0		0	-169593142.528	15		L2C	
25	6	0	24	0.9213	23581511	-106550300	140395506.486	23	196	52	L1
7	0	0.0000		0		0	-29600893.412	5		L2C	
9	8	0	24	0.9217	23479011	-48595870	11460339.682	22	48	52	L1
7	0	0.0000		0		0	-177050642.307	12		L2C	
29	9	0	24	0.9272	21829748	-81550600	96214732.692	45	268	80	L1
7	0	0.0000		0		0	-105002333.568	26		L2C	
8	10	0	24	0.9290	21291951	-71719300	-123432306.897	51	80	92	L1
7	0	0.0000		0		0	-217624669.623	38		L2C	
1	11	0	24	0.9294	21167667	-74575100	85782839.902	57	286	112	L1
7	0	0.0000		0		0	-125875565.830	46		L2C	

SITE	NAVX	NAVY	NAVZ	NAVT
OAXA	-713725.680000	-6058184.810000	1861792.020000	172857.333
PDOP	NAVXDOT	NAVYDOT	NAVZDOT	NAVTDOT
2	0.290	-0.560	0.130	0.000000

-----  
 ARCHIVO CRUDO E DE LA ESTACION FIJA OAXACA DEL DIA 9 DE AGOSTO 1998  
 -----

Week number	Seconds of week	T group delay	Age of data clock
Toc	Af2	Af1	Af0
Age of data Ephem	crs	delta N	M sub 0
cuc	eccentricity	cus	sqrt sma
Toe	cic	omega sub 0	cis
i sub 0	crc	small_omega=(perigee)	omega dot
i dot	accuracy	health	fit
spare	spare	spare	spare
spare	spare	spare	spare
spare	spare	spare	spare

Units are either seconds, meters, or radians. -----

SV= 1 MJD=51126 FMJD=0.599305555555556 1998:11: 9:14:23: 0.000000  
 9.830000000000000e+02 1.381800000000000e+05 4.656612873077393e-10  
 1.440000000000000e+05 0.000000000000000e+00 1.250555214937776e-12  
 2.080000000000000e+02 -2.228125000000000e+01 4.640907598143914e-09  
 -1.125037670135498e-06 4.120304831303656e-03 1.020170748233795e-05  
 1.440000000000000e+05 2.048909664154053e-08 1.530370562076674e+00 -  
 9.561829430976082e-01 1.779062500000000e+02 -1.696328322152091e+00 -  
 2.853690296226710e-10 7.000000000000000e+00 0.000000000000000e+00  
 0.000000000000000e+00 0.000000000000000e+00 0.000000000000000e+00  
 0.000000000000000e+00 0.000000000000000e+00 0.000000000000000e+00  
 0.000000000000000e+00 0.000000000000000e+00 0.000000000000000e+00

SV= 3 MJD=51126 FMJD=0.599305555555556 1998:11: 9:14:23: 0.000000  
 9.830000000000000e+02 1.381800000000000e+05 1.396983861923218e-09  
 1.439840000000000e+05 0.000000000000000e+00 3.410605131648481e-12  
 1.370000000000000e+02 8.896875000000000e+01 4.557689846076226e-09  
 4.637986421585083e-06 1.371830701828003e-03 8.059665560722351e-06  
 1.439840000000000e+05 7.264316082000732e-08 -1.654981992825800e+00 -  
 9.477419408902706e-01 2.173750000000000e+02 2.368642783433724e+00 -  
 2.892977646988279e-11 7.000000000000000e+00 0.000000000000000e+00  
 0.000000000000000e+00 0.000000000000000e+00 0.000000000000000e+00  
 0.000000000000000e+00 0.000000000000000e+00 0.000000000000000e+00  
 0.000000000000000e+00 0.000000000000000e+00 0.000000000000000e+00

SV= 6 MJD=51126 FMJD=0.599305555555556 1998:11: 9:14:23: 0.000000  
 9.830000000000000e+02 1.381800000000000e+05 1.862645149230957e-09  
 1.440000000000000e+05 0.000000000000000e+00 0.000000000000000e+00 -  
 8.000000000000000e+00 7.618750000000000e+01 4.449828210349009e-09  
 4.086643457412720e-06 6.906488095410168e-03 7.539987564086914e-06  
 1.440000000000000e+05 -1.322478055953979e-07 -1.617079537967847e+00  
 9.550736445022977e-01 2.343750000000000e+02 -2.497395316870686e+00 -  
 -1.125046862717664e-10 7.000000000000000e+00 0.000000000000000e+00  
 0.000000000000000e+00 0.000000000000000e+00 0.000000000000000e+00  
 0.000000000000000e+00 0.000000000000000e+00 0.000000000000000e+00  
 0.000000000000000e+00 0.000000000000000e+00 0.000000000000000e+00

-----  
ARCHIVO CRUDO S DE LA ESTACION FIJA OAXACA DEL DIA 9 DE AGOSTO 1998  
-----

\*\*\*\*\* SITE INFORMATION \*\*\*\*\*

NAME	WORDS	WEEK	TIME	SES	RCR	ANT	MMDD	OPR	CODE	TYPE
OAXA	1295152	983	183724	A	910	910	1108	FOR	EST_FIJA_OAXA	GEODETI

HI	T-DRY	T-WET	HUMIDITY	PRESSURE	
BEFORE	0.1540	0	0	0	0.0
AFTER	0.1540	0	0	0	0.0

RECEIVER Type: LM-XII3 Nav: 7C Channel: P9 Options: C16

\*\*\*\*\*

-----  
 PROCESO DEL TRIANGULO PRUEBA TESIS UNA VISION GENERAL DE GEODESIA...  
 -----

ARCHIVO DE SALIDA O

Page

Ashtech, Inc. GPPS-L

Program: LINECOMP  
 Tue Dec 01 16:21:44 1998

Version: 5.2.00

-----  
 Project information

GPS Survey  
 3138A

| 25-character project name [ The ] is in colum  
 | 5-character session name

Project information

Known-station parameters

00  
 000000  
 OAXA  
 FIXED STATION  
 910 910 FOR EST\_FIJA\_OAXA  
 0  
 N 17 4 49.64073  
 E 263 16 50.49481  
 W 96 43 9.50519  
 1595.9012  
 0.0000  
 0.0000  
 0.1540 0.0000 0.0000  
 20.0  
 50.0  
 1010.0  
 UOAXAA98.313  
 Known-station parameters

Receiver identifier used in "LOGTIMES" file  
 Project station number  
 4-character short name  
 25-character long name  
 25-character comment field  
 Position extraction (0=below,1=U-file,2=proj.  
 Latitude deg-min-sec (g=good;b=bad)  
 E-Longitude deg-min-sec (g=good;b=bad)  
 W-Longitude deg-min-sec (g=good;b=bad)  
 Ellipsoidal height (m) (g=good;b=bad)  
 North antenna offset (m)  
 East antenna offset (m)  
 Vert antenna offset (m): slant/radius/added\_of  
 Temperature (degrees C)  
 Humidity (percent)  
 Pressure (millibars)  
 Measurement filename (restricted to 24 charact

Unknown-station parameters

00  
 000000  
 C001  
 UNKNOWN STATION  
 498 873 JJJL 1508803801009  
 0  
 N 19 28 5.57740  
 E 260 49 29.46459  
 W 99 10 30.53541  
 2263.8702  
 0.0000  
 0.0000  
 1.1820 0.1318 0.0000  
 20.0  
 50.0  
 1010.0  
 UC001A98.313  
 Unknown-station parameters

Receiver identifier used in "LOGTIMES" file  
 Project station number  
 4-character short name  
 25-character long name  
 25-character comment field  
 Position extraction (0=below,1=U-file,2=proj.  
 Latitude deg-min-sec (g=good;b=bad)  
 E-Longitude deg-min-sec (g=good;b=bad)  
 W-Longitude deg-min-sec (g=good;b=bad)  
 Ellipsoidal height (m) (g=good;b=bad)  
 North antenna offset (m)  
 East antenna offset (m)  
 Vert antenna offset (m): slant/radius/added\_of  
 Temperature (degrees C)  
 Humidity (percent)  
 Pressure (millibars)  
 Measurement filename (restricted to 24 charact



## Run-time parameters

```

20      | First epoch to process
-1      | Final epoch to process (-1 = last available)
15.0    | Elevation cutoff angle (degrees)
3       | Data to process (0=Wdln;1=L1;2=L2;3=L1c;6=RpdS)
0.010000 | Convergence criterion (meters)
00 00 00 00 00 00 00 | Omit these satellites (up to 7)
10      | Maximum iterations for t1sq and d1sq
00 00 00 00 00 00 00 | Forbidden reference SVs (up to 7)
yes     | Apply tropo delay correction
Run-time parameters

```

LINECOMP 5.2.00 7-18-94

FIXED U-File from Codeless L2 receiver.  
 UNKWN U-File from P-Code receiver.

FIXED U-File used BROADCAST orbits.  
 UNKWN U-File used BROADCAST orbits.

Common start of two UFILES: 1998/11/09 15:00:15.00

Common end of two UFILES: 1998/11/09 19:05:60.00

Selected first epoch: 20

Selected last epoch: 984

```

For SV 1 there are 964 triple-difference measurements.
For SV 3 there are 304 triple-difference measurements.
For SV 8 there are 442 triple-difference measurements.
For SV 9 there are 80 triple-difference measurements.
For SV 14 there are 134 triple-difference measurements.
For SV 15 there are 497 triple-difference measurements.
For SV 17 there are 306 triple-difference measurements.
For SV 21 there are 964 triple-difference measurements.
For SV 22 there are 381 triple-difference measurements.
For SV 23 there are 664 triple-difference measurements.
For SV 25 there are 964 triple-difference measurements.
For SV 29 there are 964 triple-difference measurements.
For SV 30 there are 502 triple-difference measurements.
Epoch interval (seconds): 15.000000

```

## THE TRIPLE DIFFERENCE SOLUTION (Lc)

Measure of geometry: 36.081649

num\_meas = 6200 num\_used = 6097 rms\_resid = 0.007743 (m)

Post-Fit Chisq = 17.276 NDF = 42.340

Sigmax (m): 1.279166

Sigmay (m): 1.057540

Sigmaz (m): 0.483145

x y z  
 x 1.00  
 y -0.29y 1.00  
 z -0.02z -0.29z 1.00

del\_station: -0.002779 0.003404 -0.000919

Station1: FIXED STATION  
 (00000) (OAXA)

Station2: UNKNOWN STATION  
 (00000) (C001)

Latitude:	17.08045576	17	4	49.64073	19.46817186	19	28	5.41
E-Long :	263.28069300	263	16	50.49481	260.82486112	260	49	29.50
W-Long :	96.71930700	96	43	9.50519	99.17513888	99	10	30.49
E-Height:	1595.9012				2239.2796			

Baseline vector: -245814.3694 117373.1644 251211.8042

Mark1_xyz :	-713745.2167	-6058205.0107	1861815.2678
Az1 El1 D1 :	315.88184	-1.5693	370551.6624
E1 N1 U1 :	-261464.8459	264315.3623	643.3784
Mark2_xyz :	-959559.5862	-5940831.8463	2113027.0720
Az2 El2 D2 :	135.11148	-1.7681	370551.6624
E2 N2 U2 :	257938.2054	-264408.0578	-643.3784

#### Double-Difference Epochs:

Prn:	1	Start epoch:	21	End epoch:	984
Prn:	3	Start epoch:	21	End epoch:	324
Prn:	8	Start epoch:	21	End epoch:	462
Prn:	9	Start epoch:	21	End epoch:	100
Prn:	14	Start epoch:	851	End epoch:	984
Prn:	15	Start epoch:	488	End epoch:	984
Prn:	17	Start epoch:	21	End epoch:	326
Prn:	21	Start epoch:	21	End epoch:	984
Prn:	22	Start epoch:	604	End epoch:	984
Prn:	23	Start epoch:	21	End epoch:	684
Prn:	25	Start epoch:	21	End epoch:	984
Prn:	29	Start epoch:	21	End epoch:	984
Prn:	30	Start epoch:	265	End epoch:	766

Satellite 9 dropped due to insuff. good obs.  
 Number of measurements = 80

#### THE FLOAT DOUBLE DIFFERENCE SOLUTION (Lc)

Measure of geometry: 2.269323 Wavelength = 0.484436 (m/cycle)  
 num\_meas = 6124 num\_used = 5963 rms\_resid = 0.040803(m)  
 Post-Fit Chisq = 4.051 NDF = 41.410

#### Reference SV: 25

SV	Ambiguity	FIT	Meas	SV	Ambiguity	FIT	Me
1	18227950.981f	0.124	939	3	-48495216.242f	0.058	30
8	191083793.690f	0.032	442	14	-61747667.307f	0.071	11
15	136378258.439f	0.083	466	17	-6883789.130f	0.051	3
21	-102234199.694f	0.070	939	22	107931698.138f	0.080	3
23	46604303.960f	0.079	664	29	15831585.936f	0.029	9
30	153014465.297f	0.141	498				

```

-----
SigmaX (m) :      0.029957
SigmaY (m) :      0.041315
SigmaZ (m) :      0.015148
SigmaN (cy) :     0.043944
SigmaN (cy) :     0.076493
SigmaN (cy) :     0.076112
SigmaN (cy) :     0.108722
SigmaN (cy) :     0.081241
SigmaN (cy) :     0.074342
SigmaN (cy) :     0.045567
SigmaN (cy) :     0.052009
SigmaN (cy) :     0.071022
SigmaN (cy) :     0.040228
SigmaN (cy) :     0.075975
x      y      z      N      N      N      N      N      N      N      N
x 1.00
y-0.21y 1.00
z 0.12z-0.48z 1.00
N 0.37N 0.33N 0.18N 1.00
N-0.46N 0.69N-0.42N 0.21N 1.00
N 0.76N 0.12N 0.12N 0.63N-0.08N 1.00
N-0.50N 0.56N-0.11N 0.20N 0.55N-0.16N 1.00
N-0.71N 0.61N-0.20N 0.13N 0.67N-0.31N 0.68N 1.00
N 0.71N 0.01N-0.18N 0.42N-0.08N 0.66N-0.27N-0.38N 1.00
N 0.67N-0.01N 0.14N 0.62N-0.09N 0.73N-0.14N-0.26N 0.63N 1.00
N-0.17N 0.25N-0.46N 0.12N 0.35N-0.04N 0.24N 0.33N 0.10N 0.08N 1.00
N 0.83N 0.06N 0.02N 0.59N-0.13N 0.81N-0.24N-0.39N 0.73N 0.76N 0.02N 1.00
N 0.03N 0.42N 0.15N 0.64N 0.39N 0.39N 0.39N 0.39N 0.18N 0.42N 0.19N 0.32
N 0.74N 0.25N-0.08N 0.62N-0.01N 0.78N-0.12N-0.24N 0.67N 0.71N 0.08N 0.81

```

del\_station: -0.000004 -0.019318 -0.005414

Station1: FIXED STATION

Station2: UNKNOWN STATION

(00000) (OAXA)

(00000) (C001)

```

Latitude: 17.08045576 17 4 49.64073      19.46817328 19 28 5.42
E-Long   : 263.28069300 263 16 50.49481    260.82486494 260 49 29.51
W-Long   : 96.71930700 96 43 9.50519      99.17513506 99 10 30.48
E-Height:1595.9012      2239.8749

```

Baseline vector: -245814.0548 117372.5984 251212.1514

```

Mark1_xyz : -713745.2167 -6058205.0107 1861815.2678
Az1 El1 D1 : 315.88190 -1.5692 370551.5097
E1 N1 U1 : -261464.4396 264315.5200 643.9737
Mark2_xyz : -959559.2715 -5940832.4123 2113027.4191
Az2 El2 D2 : 135.11154 -1.7681 370551.5097
E2 N2 U2 : 257937.8263 -264408.2402 -643.9737
Tue Dec 01 16:27:50 1998

```

ARCHIVO SUMMARY.OUT

Page

-----  
PROCESS run on 12/01/1998 at 16:06

COMNAV was run using the following files:

- BOAXAA98.313
- BTOLUA98.313
- B1002A98.313
- B1003A98.313
- BC001A98.313

MAKEUFIL results were as follows:

- For BOAXAA98.313 Position is Estimated to be Within 20.859529
- For B1002A98.313 Position is Estimated to be Within 22.285674
- For B1003A98.313 Position is Estimated to be Within 22.519043
- For BC001A98.313 Position is Estimated to be Within 22.554096

LINECOMP Results Are As Follows:

From	To	SESSION	LENGTH	RMS (m)	RATIO	SOL
OAXA	1002	A	370578.550	0.04509	N/A	Float
OAXA	1003	A	370568.982	0.04098	N/A	Float
OAXA	C001	A	370551.510	0.04080	N/A	Float

-----  
PROCESS run on 12/01/1998 at 16:28

COMNAV was run using the following files:

- BOAXAA98.313
- BTOLUA98.313
- B1002A98.313
- B1003A98.313
- BC001A98.313

MAKEUFIL results were as follows:

- For BTOLUA98.313 Position is Estimated to be Within 21.489503
- For B1002A98.313 Position is Estimated to be Within 22.285674
- For B1003A98.313 Position is Estimated to be Within 22.519043
- For BC001A98.313 Position is Estimated to be Within 22.554096

LINECOMP Results Are As Follows:

From	To	SESSION	LENGTH	RMS (m)	RATIO	SOL
TOLU	1002	A	52526.379	0.01885	N/A	Float
TOLU	1003	A	52553.990	0.01614	N/A	Float
TOLU	C001	A	52533.957	0.01610	N/A	Float

-----  
PROCESS run on 12/01/1998 at 17:08

LINECOMP Results Are As Follows:

From	To	SESSION	LENGTH	RMS (m)	RATIO	SOL
C001	1002	A	27.292	0.00409	100.00	Fixed
C001	1003	A	33.999	0.00398	100.00	Fixed

-----

PROCESS run on 12/01/1998 at 17:28

LINECOMP Results Are As Follows:

From	To	SESSION	LENGTH	RMS (m)	RATIO	SOL
1003	1002	A	27.639	0.00413	100.00	Fixed

-----

PROCESS run on 12/01/1998 at 18:10

LINECOMP Results Are As Follows:

From	To	SESSION	LENGTH	RMS (m)	RATIO	SOL
C001	OAXA	A	370551.524	0.02350	N/A	Float

```

=====
NAME          TYPE          OLD VALUE          CORRECTION          UPDATE
-----
1002          ELAT          N 19 28          6.12177          0 0 0.00036          N 19 28
1002          ELON          W 99 10          31.06334          0 0 -0.00306          W 99 10 3
1002          EHYT          2239.208          0.039          2
1003          ELAT          N 19 28          6.49551          0 0 0.00036          N 19 28
1003          ELON          W 99 10          30.20182          0 0 -0.00307          W 99 10 3
1003          EHYT          2239.260          0.039          2
C001          ELAT          N 19 28          5.42382          0 0 0.00036          N 19 28
C001          ELON          W 99 10          30.48623          0 0 -0.00306          W 99 10 3
C001          EHYT          2239.875          0.039          2
=====

```

## Solution (pass 2):

```

=====
NAME          TYPE          OLD VALUE          CORRECTION          UPDATE
-----
1002          ELAT          N 19 28          6.12213          0 0 0.00000          N 19 28
1002          ELON          W 99 10          31.06640          0 0 0.00000          W 99 10 3
1002          EHYT          2239.248          0.000          2
1003          ELAT          N 19 28          6.49587          0 0 0.00000          N 19 28
1003          ELON          W 99 10          30.20489          0 0 0.00000          W 99 10 3
1003          EHYT          2239.299          0.000          2
C001          ELAT          N 19 28          5.42418          0 0 0.00000          N 19 28
C001          ELON          W 99 10          30.48929          0 0 0.00000          W 99 10 3
C001          EHYT          2239.914          0.000          2
=====

```

## Adjusted NEO Coordinates:

```

=====
CODE FFF STATION          NORTHING          STD DEV          EASTING          O-HEIGHT          STD DEV          STD DEV          MAPPR
-----
NEO 000 1002          2152661.955          0.005          481602.303          2239.248          0.011          0.014          UTM 1
SFMC          1002          0.99960418          0 -3 30.326431          UTM 14
NEO 000 1003          2152673.417          0.005          481627.431          2239.299          0.011          0.014          UTM 1
SFMC          1003          0.99960417          0 -3 30.040374          UTM 14
NEO 000 C001          2152640.485          0.005          481619.106          2239.914          0.011          0.014          UTM 1
SFMC          C001          0.99960418          0 -3 30.132075          UTM 14
NEO 111 OAXA          1889874.867          0.000          742713.923          1595.901          0.000          0.000          UTM 1
SFMC          OAXA          1.00032847          0 40 12.725577          UTM 14
NEO 111 TOLU          2133058.172          0.000          432915.758          2649.235          0.000          0.000          UTM 1
SFMC          TOLU          0.99965563          0-12 39.359023          UTM 14
=====

```

## Adjusted PLH Coordinates:

CODE	FFF	STATION	LATITUDE		LONGITUDE		ELIP-HEIGHT	
				STD DEV		STD DEV		STD DEV
PLH	000	1002	N 19 28	6.12213	W 99 10	31.06640		2239.248
				0.005		0.011		0.014
PLH	000	1003	N 19 28	6.49587	W 99 10	30.20489		2239.299
				0.005		0.011		0.014
PLH	000	C001	N 19 28	5.42418	W 99 10	30.48929		2239.914
				0.005		0.011		0.014
PLH	111	OAXA	N 17 04	49.64073	W 96 43	9.50519		1595.901
				0.000		0.000		0.000
PLH	111	TOLU	N 19 17	24.61401	W 99 38	18.54648		2649.235
				0.000		0.000		0.000

## Geoid Values:

CODE	NAME	N/S DEFLECTION		E/W DEFLECTION		UNDULATION	
GEOI	1002	+ 0 0	0.0	+ 0 0	0.0		0.000
GEOI	1003	+ 0 0	0.0	+ 0 0	0.0		0.000
GEOI	C001	+ 0 0	0.0	+ 0 0	0.0		0.000
GEOI	OAXA	+ 0 0	0.0	+ 0 0	0.0		0.000
GEOI	TOLU	+ 0 0	0.0	+ 0 0	0.0		0.000

## Residuals (critical value = 2.954):

TYPE	AT	FROM	TO	OBSERVATION	RESIDUAL	STD RES
				STD DEV	STD DEV	STD DEV
GROUP: 0001002A.313,obs#:						
DXCT		C001	1 day 313 1002	-15.38070	-0.000	
				0.001	0.000	0.09
DYCT		C001	1002	10.36900	0.000	
				0.002	0.001	0.31
DZCT		C001	1002	20.01960	-0.000	
				0.001	0.001	0.45
GROUP: 0001003A.313,obs#:						
DXCT		C001	2 day 313 1003	10.03580	0.000	
				0.001	0.000	0.05
DYCT		C001	1003	10.09590	-0.000	
				0.002	0.001	0.23
DZCT		C001	1003	30.87570	-0.000	
				0.001	0.001	1.12

```

=====
GROUP: 0003002A.313,obs#:   3 day 313
DXCT      1003      1002      -25.41650  -0.000
          0.001      0.000      0.16
DYCT      1003      1002      0.27320  -0.000
          0.002      0.001      3.03
DZCT      1003      1002      -10.85610  0.000
          0.001      0.001      0.93

GROUP: OAXA002A.313,obs#:   5 day 313
DXCT      OAXA      1002      -245829.42740  -0.102
          0.034      0.033      0.27
          ^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^
DYCT      OAXA      1002      117382.92900  0.020
          0.046      0.045      0.05
DZCT      OAXA      1002      251232.16880  0.026
          0.017      0.016      0.07

GROUP: OAXA003A.313,obs#:   6 day 313
DXCT      OAXA      1003      -245804.01990  -0.093
          0.030      0.029      0.25
          ^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^
DYCT      OAXA      1003      117382.69530  -0.020
          0.041      0.040      0.05
DZCT      OAXA      1003      251243.02390  0.027
          0.015      0.015      0.07

GROUP: OOLU001A.313,obs#:   7 day 313
DXCT      TOLU      C001      49171.19220  0.015
          0.012      0.010      0.29
DYCT      TOLU      C001      -1124.98820  0.001
          0.016      0.013      0.02
DZCT      TOLU      C001      18459.27640  -0.005
          0.006      0.005      0.10

GROUP: OOLU002A.313,obs#:   8 day 313
DXCT      TOLU      1002      49155.81160  0.015
          0.013      0.011      0.28
DYCT      TOLU      1002      -1114.61790  -0.000
          0.018      0.015      0.01
DZCT      TOLU      1002      18479.29520  -0.005
          0.006      0.005      0.09

GROUP: OOLU003A.313,obs#:   9 day 313
DXCT      TOLU      1003      49181.22880  0.014
          0.012      0.010      0.27
DYCT      TOLU      1003      -1114.89110  -0.000
          0.016      0.013      0.01
DZCT      TOLU      1003      18490.14860  -0.002
          0.016      0.013      0.01

GROUP: OAXA001A.313,obs#:  10 day 313
DXCT      OAXA      C001      -245814.05480  -0.094
          0.030      0.029      0.25
          ^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^
DYCT      OAXA      C001      117372.59840  -0.019
          0.041      0.040      0.05
DZCT      OAXA      C001      251212.15140  0.024
          0.015      0.015      0.06
=====

```



13SCLas siguientes Obs.están tomadas desde set(s) 1, 2, 3, 4.  
 09MC1001100227.638072189.472559461.3380803ST  
 09MC1001100027.290240388.6023876137.818219ST  
 07SC1001100261.3380803177.991203  
 12SC1001002  
 13SCLas siguientes Obs.están tomadas desde set(s) 3, 4.  
 09MC1001100227.635925689.896383661.3380803ST  
 09MC1001100027.290359988.6028453137.815233ST  
 13TVInicio C001 Al pt 1002  
 13TVPt Ref 9000 Acimut 317-48'43"  
 13TVSig Pt C001 Acimut 137-48'52"  
 13TVCoord cierre no fija 1002  
 13TVCerrado en coord SP C001  
 13TVD.ang 0-00'02" D.Dist 0.002 Precn 47594  
 13TVD.Norte 0.002 D.Este 0.001 D.Cota 0.003

13SCN°Set: 1 Est: 1003 Contar Pto: 4  
03NMO.80400000  
09F11003C00134.023144690.1433333217.936388ST  
03NM1.63600000  
09F11003100227.662678989.8316666269.227500ST  
03NMO.80400000  
09F21003C00134.0211447269.85606437.9349074ST  
03NM1.63600000  
09F21003C00227.6626789270.16717589.2285185ST

13SCN°Set: 2 Est: 1003 Contar Pto: 4  
03NMO.80400000  
09F11003C00134.022144790.1450000217.933055ST  
03NM1.63600000  
09F11003100227.662678989.8316666269.226944ST  
13TL  
03NMO.80400000  
09F21003C00134.0211447269.85606437.9362963ST  
13TLError tol Obs.H: Pt: 1001 0-00'06"  
03NM1.63600000  
09F21003100227.6626789270.16773189.2290740ST  
12SC1002002

13SCLas siguientes Obs.están tomadas desde set(s) 1, 2.  
09MC1003C00134.000189188.9671025190.045083ST  
09MC1003100227.634938090.1090371241.337931ST  
07SC1003C001190.045083217.934675  
02SC10022000020.22499981.6802399.338001.48800000ST  
05SC736.00000027.5000000

13SCN°Set: 3 Est: 1002 Contar Pto: 4  
03NM1.62100000  
09F11002100327.663651189.6213888177.992222ST  
03NMO.80400000  
09F11002C00127.309681290.0402777254.467500ST  
03NM1.62100000  
09F21002100327.6676508270.381620357.993518ST  
13TLError tol Obs.V: Pt: 1000 0-00'12"  
13TLError tol Obs.H: Pt: 1000 0-00'08"  
03NMO.80400000  
09F21001100027.3106811269.96523174.4710185ST

13SCN°Set: 4 Est: 1002 Contar Pto: 4  
03NM1.62100000  
09F11002100327.662651289.6197222177.990277ST  
03NMO.80400000  
09F11002C00127.309681290.0397222254.467500ST  
13TLError tol Obs.H: Pt: 1002 0-00'05"  
03NM1.62100000  
09F21002100327.6626512270.381620357.992129ST  
13TLError tol Obs.H: Pt: 1000 0-00'08"  
03NMO.80400000  
09F21002100327.3096812269.96273174.4707407ST  
12SC1001002

ANEXO 2 ARCHIVOS SDR DE ESTACION TOTAL

-----  
 PRACTICA CON ESTACION TOTAL PARA DETERMINAR LA DISTANCIA  
 DEL TRIANGULO DE PRUEBA TESIS UNA VISION GENERAL...  
 -----

ARCHIVO SDR\*.GEO ARCHIVO DE SALIDA DE LA ESTACION TOTAL  
 -----

00EDSDR20 V03-05 Oct-16-98 14:10 113111  
 10NMPRACTICA 1  
 13CPCorrec. Nivel Mar: N  
 13CPCorrec. E/R: N  
 13CPCorrec. Atmos: S  
 06NM1.00000000

13TSoct-16-98 10:46  
 13NM ESTE TRABAJO ES UNA MUESTRA DE LA PRACTICA DIARIA CON ET

01NM= 014137 00000031  
 02SC1000200000.00500000.0002400.000000.77300000ST  
 05SC736.00000021.0000000  
 11KI10001001317.814444 ST  
 04CLO.00115741-0.0010185

13SCN°Set: 2 Est: C001 Contar Pto: 4  
 03NM1.63600000  
 09F1C001100227.308817789.5772222317.811944ST  
 03NM1.54500000  
 09F1C001100334.020280889.720833310.0433333ST  
 13TLError tol Obs.V: Pt: 1001 0-00'13"  
 03NM1.63600000  
 09F2C001100227.3088177270.414398137.812407ST  
 03NM1.54500000  
 09F2C001100334.0192809270.274398190.043518ST

13SCN°Set: 3 Est: C001 Contar Pto: 4  
 03NM1.63600000  
 09F1C001100227.308817789.5772222317.811944ST  
 03NM1.54500000  
 09F1C001100334.019280989.720555510.0436111ST  
 13TLError tol Obs.V: Pt: 1001 0-00'14"  
 03NM1.63600000  
 09F2C001100227.3088177270.413842137.812962ST  
 13TLError tol Obs.V: Pt: 1002 0-00'12"  
 03NM1.54500000  
 09F2C001100334.0202808270.271342190.043796ST  
 12SC1000002

13SC Las siguientes Obs.están tomadas desde set(s) 1, 2, 3.

09MCC001100227.288520391.3949027317.814444ST  
 09MCC001100333.997725791.026401510.0450925ST  
 07SCC0011002317.814444317.812453  
 02SCC003C000133.47500005.9292399.391001.50300000ST  
 05SC736.00000027.0000000

**Anexo 2**  
**Archivos de Estación Total**

=====

-----

STATISTICS SUMMARY

-----

Residual Critical Value Type	Tau Max
Residual Critical Value	2.9544
Number of Flagged Residuals	3
Convergence Criterion	0.0010
Final Iteration Counter Value	2
Confidence Level Used	95.0000
Estimated Variance Factor	2.6911
Number of Degrees of Freedom	18

-----

Chi-Square Test on the Variance Factor:

1.5365e+00 < 1.0000 < 5.8852e+00 ?

\*\*\*\*\* THE TEST FAILS \*\*\*\*\*

-----

NOTE: All confidence regions were computed using the following factors:

Variance factor used	=	2.6911
2-D expansion factor	=	2.4477

Note that, for relative confidence regions, precisions are computed from the ratio of the major semi-axis and the spatial distance between the two stations.

-----

=====

2-D and 1-D Station Confidence Regions (95.000 percent):

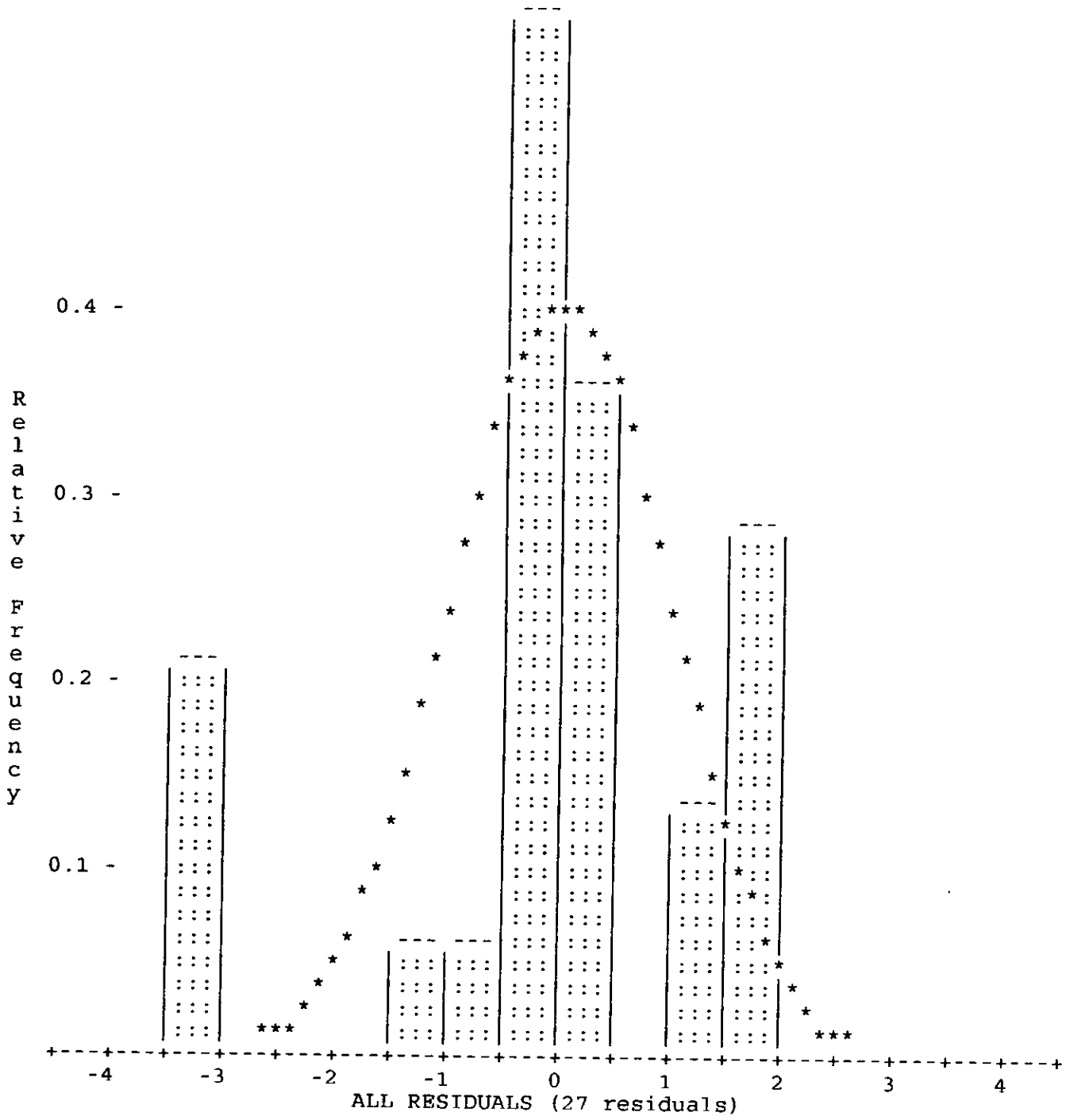
STATION	MAJOR SEMI-AXIS	AZ	MINOR SEMI-AXIS	V
1002	0.028	93	0.012	
1003	0.028	93	0.012	
C001	0.028	93	0.012	

```

=====
2-D and 1-D Relative Station Confidence Regions (95.000 percent):
FROM      TO      MAJ-SEMI  AZ  MIN-SEMI  VERTICAL  DISTANCE  PPM
-----
1002      1003      0.003    11  0.003      0.006      27.639    101.66
1002      C001      0.003     8  0.003      0.006      27.292    102.33
1002      OAXA      0.028    93  0.012      0.028     370578.64   0.07
1002      TOLU      0.028    93  0.012      0.028     52526.392   0.53
1003      C001      0.003    11  0.003      0.006      33.999     81.18
1003      OAXA      0.028    93  0.012      0.028     370569.06   0.07
1003      TOLU      0.028    93  0.012      0.028     52554.002   0.53
C001      OAXA      0.028    93  0.012      0.028     370551.58   0.07
C001      TOLU      0.028    93  0.012      0.028     52533.969   0.53

```

18:18:48, Tue Dec 01, 1998



18:18:36, Tue Dec 01, 1998

INI file: C:\GEOLAB2\GEOLAB.INI  
 Input file: C:\09002001\01\313A\AJUSTE\313AJUST.IOB  
 Output file: C:\09002001\01\313A\AJUSTE\313AJUST.LST

PARAMETERS		OBSERVATIONS	
Description	Number	Description	Number
No. of Stations	5	Directions	0
Coord Parameters	9	Distances	0
Free Latitudes	3	Azimuths	0
Free Longitudes	3	Vertical Angles	0
Free Heights	3	Zenithal Angles	0
Fixed Coordinates	6	Angles	0
Astro. Latitudes	0	Heights	0
Astro. Longitudes	0	Height Differences	0
Geoid Records	0	Auxiliary Params.	0
All Aux. Pars.	0	2-D Coords.	0
Direction Pars.	0	2-D Coord. Diffs.	0
Scale Parameters	0	3-D Coords.	0
Constant Pars.	0	3-D Coord. Diffs.	27
Rotation Pars.	0		
Translation Pars.	0		
-----		-----	
Total Parameters	9	Total Observations	27

Degrees of Freedom = 18

SUMMARY OF SELECTED OPTIONS

OPTION	SELECTION
Computation Mode	Adjustment
Maximum Iterations	12
Convergence Criterion	0.00100
Angular Misclosure Limit Factor	0.00
Linear Misclosure Limit Factor	0.00
Confidence Level for Statistics	95.000
Covariance Matrix Computation	Connected Portion Only
Residual Rejection Criterion	Tau Max
Confidence Region Types	2D Station Relative
Relative Confidence Regions	Connected Only
Variance Factor (VF) Known	Yes
CMULT (Multiply Parm Cov With VF)	Yes
RMULT (Multiply Res Cov With VF)	No
Force Convergence in Max Iters	No
Distances Affect 3D	No
Full Inverse Computed	No
Normals Reordered	Yes
Coordinates Generated	No
Geoid Interpolation Method	Bi-Linear



