

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”**

**DIVISIÓN DE AGRONOMÍA**

**DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO**

**SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)  
Y OPERACIÓN DE EQUIPOS DE RECEPCIÓN**

**MEMORIA PROFESIONAL**

Que como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO FITOTECNISTA**

Presenta:

**ARNULFO GUSTAVO DE LEÓN RAMÍREZ**

Aprobada:

Presidente del Jurado  
Agronomía

Coord. de la Div. de

---

Ing. Manuel Angel Burciaga Vera  
Dávila

---

M.C. Mariano Flores

Buenvista, Saltillo, Coah.  
Octubre de 1998

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”**

**DIVISIÓN DE AGRONOMÍA**

**DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO**

**SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)  
Y OPERACIÓN DE EQUIPOS DE RECEPCIÓN**

**ARNULFO GUSTAVO DE LEÓN RAMÍREZ**

**MEMORIA PROFESIONAL**

Que como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO FITOTECNISTA**

Comité Particular

Asesor Principal:

\_\_\_\_\_  
Ing. Manuel Angel Burciaga Vera

Asesor:

\_\_\_\_\_  
Ing. Leonides García Domínguez

Asesor:

\_\_\_\_\_  
Ing. Carlos Rojas Peña

Asesor:

\_\_\_\_\_  
Ing. Ramiro Luna Montoya

Buenavista, Saltillo, Coah.  
Octubre de 1998

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Ing. Manuel Angel Burciaga Vera, por la amistad que me ha brindado y por el apoyo que de él he recibido para mi formación profesional.

Al Ing. Carlos Rojas Peña, por haberme motivado y asesorado en la realización del presente trabajo de Memorias Profesionales, así como por brindarme su amistad.

Al Ing. Leonides García Domínguez, por la asesoría que me otorgó para la realización del presente documento.

Al Ing. Ramiro Luna Montoya, por el apoyo que me externo durante la elaboración del presente documento.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por haber permitido mi realización académica en su seno.

## DEDICATORIA

A mi esposa Silvia Garza por el amor, respeto, apoyo y consideración que me ha brindado incondicionalmente, logrando en mi la plena realización como esposo, amigo, padre y ser humano.

A mi hija Silvia Cristina porque con sus ojitos he logrado ver el mundo como algo maravilloso y con sus sonrisas ha llenado mi corazón de felicidad.

A mis padres Arnulfo de León y Graciela Ramírez, mi profundo respeto, admiración y amor, por el gran esfuerzo que realizan para guiarme acertadamente en mi vida.

A mis hermanos Lupita, Carlos Fernando y Angel Emmanuel, por el cariño y apoyo que siempre me han brindado.

A mi suegra Silvia Elguézabal por el apoyo y amor que ha vertido sobre mi familia.

Al “tíito” Andrés y “Manana” por el haber volcado su amor en el corazón de mi hija.

A todas aquellas personas, amigos y maestros que han contribuido en hacer de mi un hombre de bien.

A mis abuelitos por el ejemplo de vida que me han otorgado.



## COMPENDIO

# SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS) Y OPERACIÓN DE EQUIPOS DE RECEPCIÓN

ARNULFO GUSTAVO DE LEÓN RAMÍREZ

Requisito parcial para obtener el título de  
**INGENIERO AGRÓNOMO FITOTECNISTA**

Palabras clave: Sistema de Posicionamiento Global, Operación de receptores GPS modelo P-XII y DIMENSIÓN, Establecimiento de la Red Geodésica Nacional Activa.

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) se encuentra conformado por tres segmentos, espacial, de control y de usuarios. Fue diseñado para aplicarse en navegación y determinaciones de sitio de alta precisión.

El segmento espacial está conformado por una constelación de 24 satélites, ubicados en 6 órbitas circulares a una altura de 20,000 km. Con un período de rotación de 12 hrs., los cuales transmiten radiomensajes codificados en una señal portadora.

El segmento de control está integrado por cinco estaciones de rastreo satelital, distribuidas estratégicamente en tierra, cercanas al plano ecuatorial de la misma. Son empleadas para monitorear las órbitas de los satélites, analizar efemérides, mensajes de navegación y correcciones de tiempo a los relojes atómicos de los satélites.

El segmento de usuarios está compuesto por el software y hardware de los equipos de recepción GPS, que están diseñados para transformar los radiomensajes satelitales recibidos en distancias y coordenadas cartesianas o geodésicas, para aplicaciones en levantamientos geodésicos, navegación por tierra, mar o aire, movimiento de placas continentales, aplicaciones militares, etc.

El sistema GPS se encuentra desarrollado dentro de un marco convencional de referencia terrestre denominado WGS 84 (Sistema Geodésico Mundial de 1984), que actúa como datum de un sistema dinámico de referencia, conocido como elipsoide de referencia, nombrado GRS 80 (Sistema de Referencia Global de 1980).

En virtud del gran avance en materia de geodesia, que se ha logrado con el desarrollo del sistema GPS, la Red Geodésica Nacional (RGN) de México, se ve obligada a transformarse, adoptando el sistema geodésico de referencia ITRF 92, época 1988.0 en el GRS 80, obteniéndose de esta forma la Red Geodésica Nacional Activa (RGNA).

**ABSTRACT**

**GLOBAL POSITIONMENT SYSTEM (GPS) AND  
OPERATION OF RECEIVING EQUIPEMENT**

**ARNULFO GUSTAVO DE LEÓN RAMÍREZ**

Partial requirement for obtain the degree of  
**INGENIERO AGRÓNOMO FITOTECNISTA**

Key words: Global Positionment System, Operation of model P-XII and DIMENSION GPS receivers, establishment of National Active Geodesic Network.

The Global Positionment System is formed by three segments, spatial, of control and of users. It was designed for navigation and high precision measurements.

The spatial segment is formed by a constellation of 24 satellites located in 6 circular orbits, with 20,000 km. of height and 12 hrs. of rotation period, which transmit codified radiomessages in a bearing signal.

The control segment is formed by five stations of tracking satellite, distributed strategically in earth, close to its equatorial surface. They are used to monitor the satellites orbits, analyze ephemerides, navigation messages and time correction to the satellite atomic watches.

The users segment is composed by the software and hardware of the GPS reception equipment, which are designed to transform the satellite radiomessages received in distances and cartesian or geodesic coordinates, for applications in geodesic liftings, navigation by earth, sea or by air, movement of continental plaque, military applications, etc.

The GPS system is developed in a conventional frame of terrestrial reference denominated WGS 84 (Worldwide Geodesic System of 1984), which works like a dynamic system datum of reference, known as ellipsoid of reference, called GRS 80 (Global Reference System of 1980).

In virtue of the great advance in material of geodesy, which has been achieved with the development of the GPS system, the National Geodesic Net (RGN) of Mexico is obligated to transform itself, adopting the geodesic system of reference ITRF 92, era 1988.0 in the GRS 80, obtaining from this form the Active National Geodesic Net (RGNA).

## INDICE DE CONTENIDO

Capítul	Contenido.	No. de
o	INDICE DE FIGURAS	Pág.
	.....	xi
	INDICE DE CUADROS	xii
1	.....	1
	INTRODUCCION	3
2	.....	4
3	OBJETIVOS	6
	.....	6
	REVISION DE LITERATURA	10
	.....	10
	SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL	
	.....	12
	SEGMENTO ESPACIAL	15
	.....	18
	SEGMENTO DE CONTROL	18
	.....	19
4	SEGMENTO DE	
	USUARIOS.....	21
	FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA	22
	DE POSICIONAMIENTO GLOBAL	27
	.....	30
	TIPOS DE CODIGOS GPS	31
	.....	
	PRINCIPALES FUENTES DE ERROR	31
	.....	
	POSICIONAMIENTOS GEODESICOS	32
	.....	38
	SISTEMA SATELITAL GLONASS	

	.....			
	OPERACIÓN DEL RECEPTOR GPS ASTECH			39
	MODELO		P-XII	40
	.....			
	DESCRIPCION	DEL	EQUIPO	41
5	.....			
	INSTALACION	DEL	EQUIPO	42
	.....			44
	OPERACIÓN	DEL	RECEPTOR	47
	.....			
	TRANSMISION	DE	DATOS	47
6	.....			52
	EJECUCION DE UN POSICIONAMIENTO			53
	ESTATICO			
	.....			55
7	ESTABLECIMIENTO DE UNA			62
8	LINEA		BASE	65
9	.....			68
	POSICIONAMIENTO		CINEMATICO	70
	.....			
	PROCEDIMIENTO DE CAMPO PARA UN			
	POSICIONAMIENTOCINEMATICO			
	.....			
	POSICIONAMIENTO		PSEUDOCINEMATICO	
	.....			
	PROCEDIMIENTO DE CAMPO PARA UN			
	POSICIONAMIENTO PSEUDO CINEMATICO			
	.....			
	OPERACIÓN DEL RECEPTOR GPS ASTECH			
	MODELO DIMENSION			

.....

METODOS	DE	MEDICION
---------	----	----------

.....

ESTABLECIMIENTO	DEL	SISTEMA
-----------------	-----	---------

.....

USO Y MANEJO DE LA UNIDAD DE  
CONTROL Y DESPLIEGUE

.....

RED	GEODESICA	NACIONAL	ACTIVA
-----	-----------	----------	--------

.....

RED	GEODESICA	NACIONAL
-----	-----------	----------

.....

INSTALACION Y PUESTA EN OPERACIÓN  
DE LA RED GEODESICA NACIONAL ACTIVA

.....

DISCUCION

.....

CONCLUSIONES

.....

RESUMEN

.....

BIBLIOGRAFIA

.....

## INDICE DE FIGURAS

Figura No.	Contenido	No. de
Figura 3.1	CONSTELACION SATELITAL	GPS Pág.
Figura 3.2	..... INCLINACION DE ORBITAS	7
Figura 3.3	SATELITALES GPS	8
Figura 3.4	.....	9
Figura 3.5	SEPARACION DE PLANOS ORBITALES .....	11
Figura 3.6	SEGMENTO DE CONTROL	GPS 16
Figura 4.1	..... CODIGO DE RUIDO PSEUDO	20
Figura 4.2	ALEATORIO .....	(PRN) 23
Figura 4.3	SISTEMA SATELITAL .....	GLONASS 26
Figura 4.4	PANEL FRONTAL DEL RECEPTOR GPS ASTECH MODELO P-XII	28
Figura 4.5	..... PANEL POSTERIOR DEL RECEPTOR	29
Figura 4.6	GPS ASTECH MODELO P-XII .....	33
Figura 5.1	VISTA SUPERIOR DE LA ANTENA DEL	35
Figura 5.2	RECEPTOR GPS	P-XII 43
Figura 5.3	.....	48
Figura 6.1	VISTA LATERAL Y DE FONDO DE LA ANTENA DEL RECEPTOR GPS P-XII .....	50 58
	PANTALLA CUATRO, CONTROL DE MODOS .....	

PANTALLA NUEVE, CONTROL DE  
SITIO Y SESION

.....  
RECEPTOR GPS "DIMENSION"

.....  
MENU PRINCIPAL

.....  
SUBMENU O PANTALLA UNO

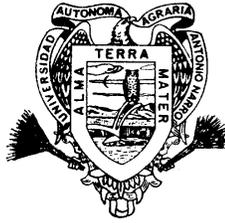
.....  
ESTACIONES FIJAS DE LA RED  
GEODESICA NACIONAL ACTIVA

.....

## INDICE DE CUADROS

Cuadro	Contenido	No.	de
No.	COORDENADAS DE LAS ESTACIONES FIJAS	Pág.	
Cuadro	DE LA RED GEODESICA NACIONAL ACTIVA		
6.1	.....		60

Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”



# **Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y Operación de Equipos de Recepción**

Por:

**ARNULFO GUSTAVO DE LEÓN RAMÍREZ**

**MEMORIA PROFESIONAL**

Presentada como requisito parcial para  
obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO FITOTECNISTA**

Buenavista, Saltillo, Coah.

Octubre de 1998

## **CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN**

Es casi seguro que desde principios de la humanidad, el hombre tuvo la necesidad de conocer el entorno en el cual se movía y del que obtenía sus satisfactores vitales.

Al principio, quizá era suficiente con tomar algunas referencias de ciertos rasgos sobresalientes del terreno, si asumimos que la competencia por los espacios era escasa y las distancias recorridas eran pequeñas.

Sin embargo, con el paso del tiempo y la evolución de los medios de transporte y comunicación y la siempre insatisfecha necesidad de conocer más sobre los espacios que el ser humano ha habitado, evolucionó también la técnica para conocer y representar los espacios geográficos.

Durante siglos la astronomía de posición jugó un papel determinante en los posicionamientos a grandes distancias y la navegación, en los últimos treinta años los métodos de posicionamiento satelital han venido no sólo a tomar su lugar, sino el de otros métodos de posicionamiento más específicos.

Primero desplazó al método de triangulación por satélite artificial, el cual consiste en fotografiar un satélite en órbita, en forma simultánea desde varias estaciones de tierra muy distantes, utilizando cámaras balísticas grandes y precisas. Basándose en mediciones realizadas en las placas fotográficas se determinan direcciones de las estaciones terrestres al satélite. La escala para la triangulación se obtiene mediante levantamientos de poligonales de ultra-alta precisión. Como indicador de la magnitud del espaciamiento de estaciones en la red de triangulación por satélite, un triángulo en América del Norte tuvo sus vértices en el noroeste de Groenlandia y en los estados de Maryland y Washington en Estados Unidos.

Después fue desplazado el sistema conocido como TRANSIT puesto que las órbitas de sus satélites eran relativamente bajas y su permanencia en el horizonte de observación era breve. Por otro lado, sólo era posible obtener información de un satélite a la vez. Además el sistema está basado en mediciones doppler de baja frecuencia y aún los más pequeños movimientos del receptor pueden causar errores significativos en la posición.

Después de esto, el departamento de defensa de los Estados Unidos lanzó el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), basado en una constelación de 24 satélites doppler (NAVSTAR) que orbitan la tierra a gran altitud (20,000 kms), que en cierto modo reemplazan las estrellas utilizadas en la astronomía de posición, que tradicionalmente se utilizaban para navegación y control geodésico.

Esencialmente, la medición GPS está basada en que una posición sobre la tierra se determina midiendo la distancia de ese punto hasta un grupo de satélites en el espacio. De éste modo los satélites actúan como puntos de referencia precisos.

Los principios básicos de operación del GPS son sencillos aún cuando el sistema en sí implica el uso de equipo de alta tecnología.

A continuación se enlistan los cinco principios básicos de operación del sistema GPS:

- 1.- Se realiza la triangulación desde los satélites.
- 2.- Se usa el tiempo de viaje de un radiomensaje emitido desde los satélites, para realizar la triangulación.
- 3.- Para medir el tiempo de viaje se utilizan relojes altamente precisos de Rubidium y Cesium.
- 4.- Una vez que se conoce la distancia al satélite, se requiere saber la posición del mismo en el espacio.
- 5.- Conforme la radioseñal viaja a través de la ionósfera y la atmósfera terrestre, sufre un retraso.

### **Objetivos**

Conocer el funcionamiento, en lo general, del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) de operación continua, creado por el departamento de defensa de los Estados Unidos.

En lo particular, el presente documento tiene la intención de presentar el uso y manejo de los equipos GPS de una banda modelo "DIMENSION" y de dos bandas como el modelo P-XII, así como la metodología desarrollada para los levantamientos geodésicos que ambos equipos de medición pueden realizar.

Difundir las características del nuevo sistema nacional de referencia geodésico en vías de adopción, desarrollado por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) como una respuesta a los avances tecnológicos en materia de geodesia y dado que el Datum Norteamericano de 1927, datum oficial de nuestro país, por su concepción original y por su propia naturaleza resulta, a la luz de la moderna tecnología un tanto inadecuado e incompatible con los actuales procedimientos de medición geodésica.

Principalmente que el presente documento sea un material de apoyo y consulta para las áreas de docencia, desarrollo e investigación, en materias afines.

## **CAPÍTULO 2**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

Según Bannister (1984) para las determinaciones directas de posición el método tradicional ha sido por observaciones astronómicas, aunque como ya muchos países cuentan con redes de control horizontal primario, se puede dar la posición absoluta de un levantamiento incluyendo en este un punto de referencia de la red nacional, pero actualmente las posiciones de las estaciones pueden determinarse por mediciones electromagnéticas, técnicas inerciales o por observaciones a satélites artificiales doppler. Establece Reyes (1994) que el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) ha venido a tomar el lugar del sistema de observación satelital conocido como TRANSIT debido principalmente a que se basaba en mediciones doppler de baja frecuencia y los más pequeños movimientos del receptor causaban errores significativos en la determinación de posición.

Esencialmente, la medición GPS se basa en que una posición sobre la Tierra se determina midiendo la distancia de ese punto a un grupo de satélites en el espacio.

Menciona el INEGI (1997) que el sistema GPS actualmente es una importante herramienta para aplicaciones de navegación y determinaciones de sitio, con múltiples aplicaciones en navegación, topografía, fotogrametría, sincronización y comunicaciones, sistemas de información geográfica y rastreo de vehículos en movimiento, entre otras.

Establece el INEGI (1994) que la geodesia ha superado su base geométrica inicial y hoy se desenvuelve en el contexto de entorno físico-dinámico fundamentales, que permiten la obtención de resultados extremadamente precisos en tiempos relativamente cortos y por otra parte, la red geodésica nacional acusa defectos de consistencia interna que obligan a replantear la situación en términos del desarrollo y adopción de un nuevo sistema de referencia compatible con la moderna tecnología de posicionamiento global.

Según Hernández (1994) el sistema NAD 27 (Datum de Norteamérica de 1927) fue concebido por William Bowie a principios de este siglo, se encuentra definido en forma "clásica" por medio de parámetros geométricos, pero es inconsistente debido a que se originó a partir de una amplia diversidad de equipos, ajustes matemáticos poco rigurosos, heterogeneidad en la distribución de la información y otros aspectos, que imposibilitaron alcanzar la precisión de 1:25,000 entre dos líneas base consecutivas, como se demostró en el estudio realizado por la Defense Mapping Agency en 1972.

El ITRF (Marco de Referencia Terrestre del IERS) es un sistema convencional terrestre definido dinámicamente para un año dado en función de la información disponible para una época específica, considerando efectos geodinámicos como la deriva continental y el movimiento del eje de rotación terrestre, entre otros, para con ello referir las coordenadas a las mismas condiciones y época. Por lo que el ITRF es un sistema geocéntrico de referencia internacional de muy alta precisión.

Por lo mismo el NAD 27 y el ITRF son sistemas incompatibles entre sí, que no permiten llevar o transformar valores de un sistema a otro sin la introducción de severas deformaciones.

## **CAPITULO 3**

### **SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL**

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) es un sistema de posicionamiento por satélites, diseñado originalmente para apoyar los requerimientos de navegación y ubicación geográfica con fines militares, diseñado por el departamento de defensa de los Estados Unidos y el cual actualmente es una importante herramienta para aplicaciones de navegación y determinaciones de sitio con finalidad de carácter civil en tierra, mar y aire.

El GPS se encuentra integrado por tres segmentos, espacial, de control y de usuarios.

#### **Segmento Espacial**

De los 1,700 satélites hechos por el hombre, que a principios de 1989 orbitaban la Tierra a diferentes alturas sobre el nivel del mar; una constelación de satélites ubicados en 6 órbitas circulares a una altura de 20,000 kms. con un periodo de rotación de 12 hrs, integran el segmento espacial del sistema GPS (Figura 3.1), que hace posible la determinación de la posición de un punto sobre la Tierra, mediante la transmisión-recepción de señales.

La órbita satelital, con respecto al plano ecuatorial, tiene una inclinación de 55° (Figura 3.2).

La separación de los planos orbitales es de 60° aproximadamente (Figura 3.3).

#### **Figura 3.1 Constelación Satelital GPS**

**Figura 3.2 Inclínación de Orbitas Satelitales GPS**

### **Figura 3.3 Separación de Planos Orbitales**

## **Segmento de Control**

El segmento de control del sistema GPS está integrado por cinco estaciones de rastreo satelital, distribuidas en la Tierra, con una ubicación estratégica (Figura 3.4) cercana al plano ecuatorial de la misma, en Colorado Springs, Hawaii, Asunción, Diego García y Kwajalein; que con frecuencia monitorean a cada satélite, para analizar datos de las efemérides, y mensajes de navegación y correcciones de reloj de los satélites y en todas ellas se cuenta con receptores que cuentan con relojes atómicos de Cesium.

Adicionalmente existen también cinco estaciones reserva de rastreo satelital, ubicadas en Australia, Ecuador, Argentina, Bahrain e Inglaterra.

## **Segmento de Usuarios**

El segmento de usuarios está compuesto por el Hardware y el Software de los equipos GPS de recepción.

El Hardware engloba los componentes de los receptores, como son:

- 1.- Antenas y Preamplificador.
- 2.- Componentes de radiofrecuencia.
- 3.- Unidad de control y pantalla.
- 4.- Unidad de almacenaje.
- 5.- Baterías, etc.

### **Figura 3.4 Segmento de Control GPS**

El receptor o Unidad de control y pantalla, transforma los radiomensajes recibidos en lecturas (coordenadas y distancias). Sus componentes internos consisten en una serie de tarjetas, las principales son de navegación, de canales, de poder y de memoria y con ellas registra y calcula la posición del punto en función al tiempo de posicionamiento.

La antena recibe la señal satelital directa y la envía al receptor; el método de selección del satélite por la antena es automático y está basado en criterios de ángulo de elevación y del estado del satélite.

Las baterías de todos los equipos GPS de recepción son recargables y algunos pueden adaptarse a las baterías de los vehículos; el promedio de suministro de energía es de 12 volts. La duración de la energía de las baterías es de 3 a 8 hrs., dependiendo del número de observaciones que se registren en el receptor.

El software engloba los programas de cómputo para procesamiento de datos internos, los cuales se incluyen en el receptor o unidad de control y para el procesamiento externo de información, los cuales se usan en computadoras; al procesar los datos de las mediciones es posible determinar la posición del punto en un sistema de coordenadas cartesianas (x, y, z) y podrán convertirse a coordenadas geodésicas (latitud, longitud y altura elipsoidal).

### **Funcionamiento del Sistema de Posicionamiento Global**

Los satélites GPS de la constelación Navstar tienen las funciones de recibir y almacenar información proveniente del segmento de control, maniobrar en respuesta a instrucciones dadas, transmitir mensajes al segmento de usuarios y mantener tiempo preciso a través de los cuatro relojes atómicos con que cuenta cada satélite, dos de Rubidium y dos de Cesium.

Entre las más importantes funciones de las estaciones de control son el monitoreo, con la finalidad de rastrear y predecir las órbitas de los satélites; el procesamiento, para el cálculo de las efemérides predichas y las correcciones de tiempo; el envío de datos, para enviar nuevas efemérides, correcciones de tiempo, mensajes de navegación y datos de comandos de telemetría; el control, para corregir posición orbital de los satélites.

El receptor tiene instalado un software diseñado para procesar la señal electromagnética enviada por los satélites, dicho mensaje es emitido a 50 Hz y codificado sobre L1-L2 que son dos frecuencias portadoras moduladas a 1575.42 MHz y 1227.6 MHz en longitudes de onda de 19 y 24 cm respectivamente. La frecuencia fundamental del reloj atómico de los satélites, es de 10.23 MHz.

La frecuencia L1 porta el mensaje de navegación y la frecuencia L2 incluye parámetros de corrección para determinar el retraso ionosférico que sufre la señal durante su trayecto, la cual baja en razón inversamente proporcional a su frecuencia al cuadrado.

Después de atravesar la ionósfera, las señales llegan a la atmósfera, en donde el vapor de agua puede afectar las señales. Los errores son similares a los producidos por la ionósfera, pero imposibles de corregir.

La corrección de distancias por el retraso ionosférico de la señal, se realiza al comparar el tiempo de llegada de dos partes diferentes de señal que tengan diferentes frecuencias y con ello deducir que clase de cambio de velocidad ha ocurrido. Este procedimiento es

muy sofisticado y está presente en los equipos de doble frecuencia, más no en los de frecuencia simple.

El mensaje de navegación es recibido por los usuarios y contiene el estatus satelital y las efemérides o almanaque de los satélites, para el cálculo de las órbitas predichas y la posición de cada una de ellas.

Ambas frecuencias L1 y L2 son fase-moduladas con el código P, que constituye la base del Servicio de Posicionamiento Preciso (PPS) y la banda L1, a su vez, es modulada también por el código C/A (Clara Adquisición) base del Servicio de Posicionamiento Estándar (SPS) destinado a libre acceso por la comunidad civil.

El código P es encriptado dentro del código "Y" para mantener restringido su acceso sólo a usuarios autorizados por el Departamento de Defensa de Estados Unidos y requiere la instalación de módulos especiales AS (anti-spoofing), es decir, antiengaño en los receptores, para ser accesado.

Los receptores modelo P-XII sólo admiten el código P cuando el modo AS no está activado, pero los receptores modelo Z-XII lo accesan utilizando el modo Z, cuando el código P se encuentra encriptado, los modelos P-XII y Dimensión trabajan en forma similar, pues sólo pueden acceder el código C/A.

La posición del punto en que se encuentra el receptor se obtiene cuando al menos la señal de cuatro satélites es registrada por el receptor y el software instalado en éste realiza un primer cálculo de la misma.

Posteriormente la información colectada en el receptor es procesada en la computadora empleando un software especial.

La posición tridimensional del receptor (x, y, z) y el tiempo son determinantes a través de una serie de mediciones de pseudodistancias en una época establecida, utilizándolas conjuntamente con las posiciones de los satélites al momento de emitir las señales. El cuarto satélite es necesario para calcular el tiempo exacto y corregir el desfaseamiento del reloj del receptor con respecto al reloj del satélite.

## **Tipos de Códigos GPS**

Los códigos utilizados por el sistema GPS son llamados ruido pseudo-aleatorio (PRN) y son en realidad creados por una ecuación matemática y representados por una secuencia de ceros o unos que se colocan en la fase portadora de la señal a cada determinados tics del reloj fundamental y ésta última es una señal senoide repetida que no lleva información, tan sólo se utiliza para portar los códigos PRN (Figura 3.5)

### **Código C/A (Clara Adquisición)**

El código C/A o código S es una serie única de ceros y unos distinta para cada satélite. Cada cero o uno pone en la fase portadora de la señal cada 10 tics del reloj fundamental, en otras palabras, si el reloj atómico emite un tic o ciclo cada nanosegundo

(0.000000001 seg), a sea, 10,230,000 tics o ciclo por segundo, en cada segundo hay 1'023,000 ceros o unos del código C/A y el mensaje del código se repite cada milésima de segundo.

**Figura 3.5 Código de Ruido Pseudo Aleatorio (PRN)**

## **Código “P”**

El código “P” es una serie de ceros y unos, donde cada cero o uno se pone en la señal portadora en cada uno de los tics del reloj fundamental, es decir, en cada segundo se registran 10’230,000 ceros o unos.

La secuencia completa del código “P”, dura 267 días 9 hrs. 45 minutos 55.5 segundos y contiene 235’469,592’765,000 Bit, donde un bit es un cero o un uno.

## **Código “Y”**

El código “Y” es un código similar al código “P”, es utilizado para encriptar al código “P” por el departamento de defensa de los Estados Unidos y es accesado cuando el Anti-Spoofing (Anti-Engaño) está activado, es un código secreto e impide el acceso al código preciso de la señal GPS a los usuarios no autorizados.

Las señales emitidas por los satélites viajan a la velocidad de la luz, lo que es igual a 299,792,458 m/seg, esta cifra es la constante de la velocidad de la luz en GPS.

## **Principales Fuentes de Error**

Las principales fuentes de error en las mediciones del sistema GPS pueden ser producidas por los diferentes segmentos que lo constituyen, como serian:

<b>Segmento</b>	<b>Fuente de error</b>
1.- Espacial	Reloj, Perturbaciones satelitales
2.- Control	Efemérides
3.- Usuario	Retrasos troposféricos
	Retrasos ionosféricos
	Múltiple trayectoria (Multipac)
	Errores Instrumentales
	Errores Humanos

## **Posicionamientos Geodésicos**

Los posicionamientos geodésicos de acuerdo a su configuración geométrica se clasifican de dos maneras:

- a) Posicionamiento puntual. Este se caracteriza por la determinación de una posición con respecto a un sistema de referencia geodésico definido.

- b) Posicionamiento diferencial. Es la determinación de diferencias de coordenadas de un punto con respecto a otro, ambos posicionados.

Los posicionamientos geodésicos en función de su metodología se clasifican como:

- a.- Estático. Es la determinación de las coordenadas de un punto estacionario, como por ejemplo: un monumento geodésico.
- b.- Cinemático. Método mediante el cual se desplaza un receptor consecutivamente de uno a otro punto de interés, para obtener sus coordenadas.
- c.- Pseudo-cinemático. Método en que se requiere la reocupación de cada punto de interés.
- d.- Estático Rápido. Método en el que se lleva a cabo una ocupación de corto tiempo con equipo de 2 bandas y activación del código de precisión.

### **Sistema Satelital GLONASS**

En la actualidad existen otros sistemas de satélites que sirven para realizar mediciones con equipos GPS. Los Rusos desarrollaron uno que denominaron GLONASS (Figura 3.6), el cual está integrado desde 1995 por una constelación de 24 satélites, ubicados en tres planos orbitales a una altura aproximada de 19,000 km. El sistema GLONASS se encuentra trabajando bajo el sistema de coordenadas SGS 85 y la frecuencia del código que emiten los satélites es de 0.511 MHz.

**Figura 3.6 Sistema Satelital GLONASS**

## CAPITULO 4

### OPERACIÓN DEL RECEPTOR GPS ASHTECH MODELO P-XII

El receptor GPS modelo P-XII esta diseñado para hacer uso total del Sistema de Posicionamiento Global Navstar, proporcionando posicionamiento y navegación de la más alta precisión. Es actualmente el receptor GPS más sofisticado, ofreciendo un rastreo automático de todos los satélites visibles mediante doce canales independientes, eliminando así la necesidad de seleccionar manualmente en forma programada o pre-programada los satélites comunes entre sitios a posicionar.

El receptor es de fácil operación, pues tiene los controles de operación en la cara superior rodeando la pantalla LCD (pantalla de cuarzo líquido) y las conexiones de entrada y salida en la cara inferior del mismo, después de posicionar el tripie sólo requiere conectarse a la fuente de energía e introducir los parámetros de operación e identificación del sitio posicionado.

El funcionamiento es posible a través de varias pantallas que despliegan información y otras, llamadas “control” con las que el usuario interactúa y existen varias subpantallas de alto nivel.

#### Descripción del Equipo

El equipo o hardware del receptor GPS modelo P-XII esta integrado principalmente por el receptor y la antena, los cuales se describen a continuación.

#### **Panel Frontal del Receptor**

El panel frontal del receptor esta constituido por una pantalla LCD de ocho líneas por 40 caracteres, en ella proporciona reportes sobre datos satelitales y es el área de menús interactivos para introducción de información por el usuario (Figura 4.1).

La pantalla se encuentra rodeada de teclas que activan las funciones del receptor.

Las teclas del cero al nueve presionándolas directamente despliegan una pantalla correspondiente, que expresa la función o despliegue que a continuación se enlista:

<b>Número de Pantalla</b>	<b>Función o Despliegue</b>
0	Información
1	Información Orbital
2	Información Navegacional

3	Información sobre Rastreo
4	Modos de Control
5	Información Diferencial
6	Control de Puntos en Ruta
7	Control en Selección de Satélites
8	Control de Sistema
9	Control en Sitio y Sesión
10	Información Todos a la Vista
11	Información sobre Visibilidad
12	Control del Código Bar

**Figura 4.1 Panel Frontal del Receptor GPS Astech Modelo P-XII**

Las teclas numeradas del cero al nueve también son usadas para introducir datos numéricos o alfa numéricos, dependiendo de información solicitada en el campo específico de la pantalla desplegada, estas teclas pueden tener las funciones que indican en la parte superior de cada una de ellas.

El uso de la tecla “c” cancela la entrada de datos a la pantalla que se este utilizando.

La tecla “e” se presiona para la entrada del modo de entrada de datos, para salvar valores que el usuario haya introducido y para acceder despliegues de mayor nivel, funciona muy parecido a la tecla “enter” de una computadora.

Las teclas de flechas izquierda o derecha se utilizan para cambiar a la pantalla o subpantalla numerada siguiente más alta o más baja.

Las teclas de flecha arriba o abajo sirven para graduar el contraste cuando el receptor se encuentra en una pantalla de despliegue de información.

Después de dos minutos de inactividad en el teclado del receptor se apaga automáticamente la pantalla, para aumentar la vida de la batería. Para restaurarla se recomienda presionar la tecla “e”, aunque presionando cualquier tecla se restaura la pantalla, pero de ésta forma no cambia la pantalla desplegada antes de que se apagara.

Las cuatro teclas de flechas, en la pantalla de control o de entrada de datos, se utilizan para iluminar un campo o “flashear” en la posición de un carácter donde se introducirá información, las teclas de flechas mueven el cursor en la dirección que indican.

Las teclas “+” o “-” se utilizan para barrer o desplazarse sobre la información que pueda contener un campo, hasta que se despliegue el dato requerido y para seleccionarlo presione la tecla “e”.

### **Panel Posterior del Receptor**

El receptor está diseñado para operar con un voltaje de entrada entre 10 y 32 voltios de corriente directa, de una batería externa. Dos contactos “Power-In” permiten el uso de dos baterías externas. Antes de descargarse, se oirá un tono continuo (alarma) reportando que el voltaje ha caído por debajo de los 10 voltios y dará tiempo suficiente al usuario para realizar la sustitución de una de las baterías externas (Figura 4.2).

El switch “ON/OFF” enciende y apaga el receptor.

El contacto “CAMERA IN” permite el registro exacto del tiempo de un posicionamiento al conectarse en él una cámara fotogramétrica.

El contacto 1PPS acepta un conector BNC, cuando el receptor tiene instalada la opción de generación de un pulso por segundo en tiempo GPS.

El contacto “ANT” es un conector para el cable de la antena para la combinación L1 y L2.

“Serial Port 1 y 2” son dos puertos de serie RS-232 utilizables para transferir los datos registrados por el receptor a una computadora, para el postprocesamiento de la información. También puede usarse para otro tipo de comunicaciones.

Todos los conectores del receptor tienen dos capas roscadas (caps) para su protección y deberán estar en su lugar cuando no se utilice el conector.

Tiene una ventanilla de referencia de humedad, la cual trae una superficie que reacciona tiñéndose de color azul cuando el receptor presenta humedad interna, para indicar al usuario que debe dársele mantenimiento de secado.

**Figura 4.2 Panel Posterior del Receptor GPS Astech Modelo P-XII**

## **Antena**

Una antena geodésica microtelescópica se sitúa sobre una plataforma de acabado fino, protegida con una cubierta a prueba de agua (Figuras 4.3 y 4.4).

Situado en la base de la antena se encuentra un preamplificador de ruido bajo, con suficiente ganancia para un cable de hasta 30 m.

En el plato de la antena existen ocho entradas para flexómetro, clasificadas de la A a la H, utilizadas para medir la altura de la antena y comprobar la horizontalidad de la misma.

La plataforma de la antena se puede montar sobre una amplia variedad de polos de rango o tripies, usando el conector de rosca o el conector de tripie.

### **Instalación de Equipo**

- 1.- Establezca y nivele la antena sobre la marca del sitio seleccionado, utilizando la plomada óptica para centrar el tripié y la base soporte de la antena, una vez que se encuentre nivelada colóquese sobre ella la plataforma de la antena, verificando que el compás o brújula señale al Norte.
- 2.- Conecte el preamplificador de la antena con el receptor usando el cable de la antena.
- 3.- Mídase la altura de la antena desde la marca del punto hasta la entrada pata de perro, utilizando cuando menos tres lecturas desde entradas o muescas opuestas y sólo si entre las tres lecturas existe menos de 1.0 mm. de variación en su magnitud use el promedio de éstas como la altura de instrumento (HI).  
Deberá realizarse la medición de la altura de instrumento antes y después de la observación, para verificar que no hubo asentamiento durante el levantamiento.
- 4.- Conecte una o ambas baterías externas a los contactos “POWER-IN” ubicados en la parte posterior del receptor.
- 5.- Repita estos pasos para todos los receptores que participan en el levantamiento.

**Figura 4.3 Vista Superior de la Antena del Receptor GPS P-XII**

**Figura 4.4 Vista Lateral y de Fondo de la Antena del Receptor GPS P-XII**

Posteriormente y en forma sincrónica gire el interruptor a la posición de encendido (ON) en todos los receptores, siempre que todo esté listo para iniciar la colecta de datos.

### **Operación del Receptor**

Al encender el receptor, este automáticamente inicia una auto-prueba y si encuentra algún problema despliega un código de error y suspende la operación. En caso de no existir problema se despliega libremente el copyright de “Ashtech” antes de mostrar la pantalla cero.

Con anterioridad se introducen los valores e información que configure el funcionamiento, características, identificación del sitio, etc., en caso de ser necesario y si así se desea, se opera con los valores preestablecidos (default).

Posteriormente el receptor busca y hace contacto con los satélites disponibles, realiza mediciones GPS y calcula su posición, abre un archivo y guarda todos los datos en el mismo y al apagarse automáticamente salva los datos colectados y cierra el archivo.

En la pantalla cuatro se establece el control de modos, donde se establecen los parámetros operacionales de la sesión.

En la pantalla nueve se controla el sitio y la sesión, mediante el establecimiento de una clave para el sitio numérica o alfanumérica, una clave para la sesión, número del receptor, número de antena, fecha, altura de instrumento, mínimo de satélites visibles para la sesión, intervalo de época, etc. Estos datos pueden introducirse durante el desarrollo de la sesión, sin perturbarla debido a que se genera un archivo ASCII cuando los datos son descargados en el receptor.

### **Transmisión de Datos**

Como parte del Sistema de Posicionamiento Global se cuenta con un software de post-procesamiento GPS ó GPPS que realiza post-procesamiento de datos de campo y los convierte en una gran variedad de coordenadas.

Se deben descargar los datos del receptor a la computadora utilizando el programa HOSE mediante un cable RS-232, pudiendo utilizarse los puertos seriales uno o dos del receptor y COM 1 ó COM 2 en la computadora, teniendo la precaución de introducir la información precisa de los puertos seriales utilizados, en la opción de parámetros de comunicación en el software de descarga y ejecutando la opción “B” del programa HOSE del software GPPS.

### **Ejecución de un Posicionamiento Estático**

El Posicionamiento Estático usa al menos dos receptores GPS y dos antenas estacionarias que observan simultáneamente el rango y la fase portadora de varios satélites comunes, cuando menos cuatro, sobre un período de tiempo específico. Una

antena se sitúa sobre un punto conocido, mientras que las otras antenas ocupan estaciones desconocidas.

Se cancelan un número de errores comunes al ocupar más de una estación y la exactitud puede mejorarse sustancialmente. Es utilizado, éste método, para establecer y calcular líneas base precisas y establecer posiciones exactas sobre puntos desconocidos.

El procedimiento para realizar éste tipo de posicionamientos se lleva a cabo de la siguiente forma:

- 1.- Establezca y nivele la antena sobre la marca del sitio a sesionar, considerando que el punto debe contar con un horizonte de visual libre de obstáculos (mascara de elevación) ubicado cuando más a 10 grados por encima de la horizontal, con respecto a la antena, para la correcta recepción de las señales GPS.  
Se deberá contar con coordenadas basadas en el elipsoide de referencia WGS-84 ó NAD-83 cuando menos para una estación en la sesión.
- 2.- Conecta el pre-amplificador de la antena con el receptor usando el cable de la antena.
- 3.- Mídase la altura de la antena (HI) utilizando el flexómetro específico para éste equipo.
- 4.- Conecte la batería externa a uno de los contactos POWER-IN ubicados en la parte posterior del receptor.
- 5.- Repita estos pasos para todos los receptores que participan en la sesión. Gire a ON el interruptor de energía (switch) del receptor cuando todo esté listo para iniciar la colecta de datos.

Cuando el receptor se enciende, automáticamente busca y hace contacto con todos los satélites disponibles, realiza mediciones GPS y calcula su posición, abre un archivo y guarda todos los datos en éste archivo y al apagarse, automáticamente cierra el archivo y salva los datos colectados.

Existen principalmente dos pantallas que requieren especificación de información para un levantamiento. Estas son la pantalla cuatro y la pantalla nueve.

Encontrándose sobre la pantalla cero, establezca el contraste suficiente para leer la información, ajustándolo con las teclas de flecha arriba ó abajo.

Presionando la tecla 4, se traslada a la pantalla cuatro, denominada Control de Modos (Figura 4.5), donde se pueden introducir algunos parámetros operacionales.

En el campo POS se establecen las coordenadas geodésicas y la altitud del sitio posicionado, en base al elipsoide de referencia WGS-84 ó NAD-83.

En el campo ALT KNOW, si se introdujo la altitud en el campo POS, se puede introducir si (Y) y se mantiene fija la altura en el valor especificado y se calculan la latitud y la longitud del sitio.

**Figura 4.5 Pantalla Cuatro, Control de Modos**

En el campo RANGER se controla mediante las claves cero, uno y dos, como son almacenados los datos y las posiciones.

El cero indica el modo geodésico, almacena datos en fase en archivos “B” que pueden post-procesarse diferencialmente usando fase portadora ó fase de código.

El uno almacena datos de fase en archivos “B” y solamente pueden post-procesarse diferencialmente usando fase de código.

El dos almacena posiciones suavizadas, en archivos “C” y puede post-procesarse diferencialmente sólo en tiempo real.

REC INTVL permite especificar la frecuencia de registro de datos (intervalo de registro) en la memoria, el valor especificado es de 20 segundos, pero si se desean más datos decremente el valor y si se desean menos increméntelo.

MIN # SV permite establecer el número mínimo de satélites con efemérides válidas que necesitan rastrearse. Para un posicionamiento tridimensional deberán ser cuatro satélites.

ELEV MASK permite establecer el ángulo de elevación mínimo a partir del cual se usará la información de los satélites para su registro y cálculo de posición.

Posteriormente vaya a la pantalla nueve, llamada Control de Sitio y Sesión. En ésta pantalla (Figura 4.6) se introduce información relativa a un levantamiento específico. Esta información puede introducirse durante la colecta de datos sin afectar ó interrumpir dicho proceso.

En el campo SITE se introduce el nombre del sitio mediante cuatro caracteres alfanuméricos, con el fin de etiquetar los datos crudos obtenidos durante la sesión. El nombre del sitio puede introducirse aún durante la descarga del receptor.

SESS es el identificador de la sesión, el programa HOSE de GPPS pone automáticamente éste parámetro, pero el usuario puede introducir una letra o número común a los receptores que intervengan en la misma sesión de posicionamiento.

**Figura 4.6 Pantalla Nueve, Control de Sitio y Sesión**

RCV # Es el identificador del receptor y lo constituyen los tres últimos números de serie del receptor.

ANT # Es el identificador de la antena y esta integrado por los tres últimos números de la serie de la antena.

MM DD Indica el mes y día de la sesión. Se usa solamente cuando se desea ignorar la etiqueta de antigüedad del archivo.

OPR Identifica mediante tres caracteres alfanuméricos al operador del receptor.

CODE Identifica mediante trece caracteres alfanuméricos de comentarios del usuario para el reconocimiento posterior del punto.

HI Es la altura de la antena en sistema métrico, con lo que el software de post-procesamiento calcula la posición correcta de la estación.

Es un posicionamiento cinemático, un receptor permanece estacionario durante la sesión mientras otro u otros receptores, llamados móviles, se mueven a través de una serie de puntos. En éstos puntos se hacen observaciones breves de uno a tres minutos, con un intervalo de época de 10 segundos.

El receptor estacionario debe estar ubicado en alguno de los dos puntos que integran la línea base, eventualmente todos los receptores móviles deberán regresar al sitio donde hayan dado inicio a la sesión del levantamiento, para que sirva como control.

Esta técnica requiere que todos los receptores mantengan contacto cuando menos con cuatro satélites GPS durante todo el tiempo que dure la sesión, por lo que se recomienda que se rastreen cinco ó más satélites, para reducir el efecto de geometría pobre o pérdida momentánea de la señal.

El nivel de exactitud que proporciona el método cinemático es comparable al del levantamiento estático, sin embargo, cada observación es altamente influenciada por la geometría satelital momentánea y es indispensable mantener un mínimo nivel de contacto aún cuando las antenas y receptores móviles se encuentran trasladándose entre los puntos objeto de la sesión.

En caso de pérdida de contacto con los satélites GPS se puede reinicializar el receptor móvil en el punto anterior sesionado y después de posicionarlo nuevamente continuar con la trayectoria del levantamiento preestablecida, evitando el obstáculo que ocasionó la pérdida de datos durante el traslado.

### **Establecimiento de una Línea Base**

Para comenzar un levantamiento cinemático, se requiere ocupar una línea base de coordenadas conocidas, con dos receptores.

El usuario puede introducir los datos de temperatura seca, temperatura húmeda, humedad relativa y presión barométrica en los campos T-DTRY, T-WET, BH y BP respectivamente, pero es recomendable dejarlo en ceros, para que el equipo introduzca los valores especificados (default) de 20° C, 50 por ciento de humedad y 1010 milibares.

MIN SV Establece una alarma cuando el número de satélites en rastreo es menor al mínimo especificado por el usuario (en la pantalla 4). Para silenciar la alarma presione la tecla “e”.

RECORD Permite registrar (Y) o no (N) los datos crudos, el modo normal es si (Y).

EPOCHS Especifica el número de épocas de medición que serán etiquetadas con el nombre del sitio en los levantamientos cinemáticos, realizando un conteo regresivo hasta que llega a cero y en éste momento el nombre del sitio cambia a ????, señalando que el receptor puede moverse a la siguiente estación.

Este método de levantamiento se utiliza regularmente para el establecimiento de líneas base ó para sesionar monumentos geodésicos y regularmente se posiciona el equipo cuando menos una hora en el punto, dependiendo de la precisión requerida y la longitud de la línea base.

### **Posicionamiento Cinemático**

El posicionamiento cinemático requiere cuando menos de dos receptores GPS y dos antenas. Generalmente se inicia por el establecimiento de una línea base y luego comenzar el posicionamiento cinemático sobre la línea base conocida para resolver ambigüedades de partida, que son el número desconocido del total de ciclos de la señal asociada con la primera medición de fase para determinar las ambigüedades de la fase portadora.

La línea base se puede establecer por el método de sesión estática de una hora (descrito anteriormente) o por el método de intercambio de antenas, que se describe a continuación.

Para la realización de un intercambio de antenas se ocupa una línea base entre un punto conocido y otro desconocido, después de coleccionar datos comunes en ambos receptores durante uno a tres minutos de sesión, se procede a intercambiar las antenas y receptores, manteniendo permanentemente el contacto con cuatro satélites o más y se coleccionan más datos, de modo que cada antena haya ocupado cada punto una vez.

El intercambio de antenas también es utilizado frecuentemente para la determinación de un azimut geodésico preciso entre dos puntos.

Pasos para la realización de un intercambio de antenas:

- 1.- Conecte los cables de antena a las antenas y a los receptores, conecte las baterías, centre las antenas sobre puntos respectivos, mida las alturas de las antenas y encienda ambos receptores.
- 2.- En la pantalla cuatro establezca el intervalo de registro (REC INTVL) a 010 de modo que los datos se coleccionen a intervalos de diez segundos.
- 3.- En la pantalla nueve de cada receptor introduzca el nombre del sitio, se sugiere HOME en el receptor base que está situado en un punto de coordenadas conocidas y AWAY en el receptor remoto.  
Introduzca el número de épocas a coleccionar en el campo, EPOCHS, que pudiera ser de 6 a 8 dependiendo del tiempo de sesión, ya sea 1 o 3 minutos respectivamente.
- 4.- Observe de 1 a 3 minutos de datos comunes.
- 5.- Cuando el conteo regresivo de épocas coleccionadas en el receptor llegue a cero, automáticamente el nombre del sitio se observará en ????, esto indica que se puede mover el equipo de recepción.
- 6.- Sin perturbar los tripies, intercambie las antenas, conservando cuidadosamente su propia orientación. Establezca los receptores y antenas en los sitios intercambiados.

- 7.- En la pantalla nueve de ambos receptores introduzca HOME para el que se encuentre en el punto de coordenadas conocidas y AWAY en el receptor que se encuentra en el punto desconocido de la línea base.
- 8.- Observe de 1 a 3 minutos de datos comunes en la nueva posición.
- 9.- Cierre los archivos dándole entrada a la clave 123 en la pantalla ocho y en éste momento puede iniciar con la sesión cinemática, colocando los receptores en la posición de inicio, regresándolos al punto de la línea base donde comenzaron la sesión para intercambio de antenas.

### **Procedimiento de Campo para un Posicionamiento Cinemático**

- 1.- Establezca los receptores y antenas en los dos puntos de la línea base, uno de éstos puntos se designa como punto base o de referencia y en esta estación se colectan datos durante todo el levantamiento.
- 2.- Conecte los cables de antena a las antenas y a los receptores, conecte las baterías, centre y nivele las antenas sobre sus respectivos puntos, mida las alturas de las antenas y encienda ambos receptores.
- 3.- En la pantalla cuatro de ambos receptores introduzca el intervalo de registro (REC INTVL) a 010, o sea, a diez segundos.
- 4.- En la pantalla nueve de ambos receptores, introduzca el nombre del sitio.
- 5.- En la pantalla nueve del receptor móvil establezca cuatro satélites rastreados como mínimo y en el campo "EPOCHS" introduzca el valor de 6 a 18 épocas a coleccionar.
- 6.- Inicie el levantamiento cinemático ocupando durante uno a tres minutos la línea base conocida, dependiendo de las necesidades de redundancia de datos y exactitud del levantamiento.  
Cuando el nombre del sitio pase automáticamente a "???" el receptor móvil puede moverse al punto siguiente.
- 7.- Desplace el receptor móvil al siguiente punto del levantamiento, manteniendo contacto permanente con los cuatro satélites como mínimo. Periódicamente revise la pantalla uno para observar si no ocurren variaciones de ciclo, detectables cuando en el parámetro "CNT" el receptor restablece cero.  
En cualquier momento que el receptor móvil pierda el contacto con cuando menos cuatro satélites, el levantamiento cinemático debe reiniciarse, regresando a sesionar el punto previo durante uno o tres minutos y encontrar una ruta alterna para el punto siguiente, que evite la pérdida de contacto.
- 8.- Cuando llegue al punto desconocido, introduzca el nombre del sitio. Hasta que se introduzca el nombre del nuevo sitio el receptor comenzará el etiquetado de datos para dicho punto.
- 9.- Se deberán repetir los pasos siete y ocho para cada punto por localizar en el levantamiento.
- 10.- Finalmente cierre los datos del levantamiento posicionándose, por último, en el punto de partida o inicio y tomando una lectura final de uno a tres minutos.

## **Posicionamientos Pseudocinemático**

El levantamiento pseudocinemático requiere al menos de dos equipos de recepción GPS donde se deja un receptor fijo en una marca topográfica (estación) durante todo el tiempo que dure el posicionamiento, mientras se mueve el otro receptor a los otros puntos o estaciones a posicionar, colectando datos por 5 o 10 minutos y después de un período de una hora, nuevamente se sesiona cada sitio con el receptor móvil colectando datos durante el mismo tiempo (5 o 10 minutos).

En ésta forma se crean observaciones de una hora para cada posición, con los datos intermedios perdidos. El mismo receptor debe visitar dos veces cada uno de los puntos objeto del levantamiento, esto es, un receptor no puede visitar un punto para la primera observación, mientras más tarde un receptor diferente obtiene los datos en ese punto para la segunda observación. Ambas visitas deben hacerse por el mismo equipo de recepción.

En contraste con el posicionamiento cinemático, no hay inicialización y la separación de cuando menos una hora entre las dos observaciones permite que la geometría satelital cambie lo suficiente para resolver las ambigüedades de fase. Las dos observaciones de 5 a 10 minutos con un intervalo de separación de una hora equivalen a una observación de línea base para cada punto posicionado en el método estático de una hora.

Este método de levantamiento requiere preferiblemente de la observación constante de 4 satélites GPS cuando menos, comunes para los dos posicionamientos de 5 a 10 minutos que se realizan en cada sitio.

### **Procedimiento de Campo para un Posicionamiento Pseudocinemático**

- 1.- Establezca los receptores en los sitios a observar, conecte el cable de la antena a la misma y al receptor, conecte la batería, centre la antena sobre el sitio, mida la altura de la antena (HI) y encienda el receptor.
- 2.- Introduzca el nombre del sitio en la pantalla nueva y programe el receptor para un conteo regresivo de 30 a 60 épocas, según el tiempo de observación, ya sea de 5 a 10 minutos, intervalo de registro de épocas a 10 segundos, para que el receptor automáticamente cambie el nombre del sitio a ???? cuando haya terminado la colecta de datos y se encuentre en condiciones para ser trasladado al siguiente punto.
- 3.- Mientras se traslada el equipo verifique que la antena mantenga la visibilidad, aunque no es necesario mantener el contacto, pero de ésta forma se eliminan los tiempos de readquisición de la señal satelital.
- 4.- En cada punto desconocido a observar introduzca el nombre del sitio y permita que el receptor colecte datos por 5 o 10 minutos, esto es de 30 a 60 épocas de 10 segundos de intervalo.
- 5.- Verifique que el nombre del sitio en el receptor móvil se restablezca a ???? cuando termine el periodo de observación.

En contraste con el método cinemático, se puede establecer el receptor para que no registre datos durante el traslado programando “N” en el campo RECORD

de la pantalla cuatro, pero esto se deberá hacer después de que el receptor ha colectado al menos una época con el nombre del sitio en ????, pero no olvide restablecer la colecta de datos en el siguiente punto, introduciendo “Y” en el mismo campo.

6.- Repita los pasos 4 y 5 para cada punto a localizar.

7.- Finalmente posicione el equipo receptor en cada punto nuevamente, verificando que haya transcurrido por lo menos una hora entre la primera observación y la actual, (el mismo nombre que en la primera observación) y tome lecturas de 5 a 10 minutos finales. En el último punto de la sesión apague los receptores.

## **CAPITULO 5**

### **OPERACIÓN DEL RECEPTOR GPS ASHTECH MODELO DIMENSION**

El receptor GPS “DIMENSION” cuenta con una antena microtira empotrada que provee exactitud en las mediciones de posición, para topografía y navegación, es un equipo de recepción de una sola frecuencia y cuenta con doce canales paralelos de aplicación individual para captar el código C/A (Clara/Adquisición), modulación del código de fase en la banda L1 (1575.42 MHz).

El usuario puede establecer los parámetros de observación satelital, establecer el sitio y los métodos de levantamiento mediante un dispositivo externo, tal como una calculadora o computadora, usando la interfase DOS (Sistema Operativo de Disco) y el software “DIME”.

El equipo o hardware receptor GPS “DIMENSION” (Figura 5.1) está constituido por un disco o coraza circular a prueba de agua, de aproximadamente nueve pulgadas de diámetro y una y media pulgada de alto. En dicha coraza se encuentran contenidos la antena, el receptor, los conectores externos, dos muescas en forma de “U” para la medición de altura de instrumento, dos diodos emisores de luz (LEDs) que indican el estado de operación, una conexión al centro de la antena-receptor para fijar el equipo a polos de rango (balizas), una conexión para la unidad de control externa y el interruptor de encendido.

Durante el desarrollo de una medición u observación, el receptor busca a todos los satélites disponibles y se enlaza con ellos, hace mediciones GPS y computa la posición del punto y almacena todos los datos colectados en un archivo dentro de una memoria no volátil, el cual es cerrado automáticamente al ser apagado el receptor.

**Figura 5.1 Receptor GPS “DIMENSION”**

El receptor retiene los archivos hasta que son transferidos a una computadora, para su post-procesamiento.

El receptor “DIMENSION” puede realizar observaciones usando dos o más equipos de recepción simultáneamente en el método estático, pseudocinemático y cinemático obteniendo la posición del sitio diferencialmente. El equipo “DIMENSION” no puede realizar posicionamientos empleando el método estático rápido, el cual consiste en realizar un levantamiento igual que el estático pero activando el código “P” (código preciso) y disminuyendo el tiempo de sesión a 15 o 20 minutos obteniendo gran exactitud. Debido a que sólo cuenta con una banda de recepción para el código C/A en fase L1.

### **Métodos de Medición**

Los levantamientos geodésicos de acuerdo a su configuración geométrica se clasifican en :

- a) Posicionamiento Puntual: Caracterizado por la determinación de una posición (x,y,z) con respecto a un sistema de referencia geodésico definido, por ejemplo: monumentos geodésicos de una red geodésica nacional, vértices geodésicos de referencia para minas, vértices geodésicos de control, etc.
- b) Posicionamiento Diferencial: Definido por la determinación de diferencias de coordenadas (dx,dy,dz) de un punto con respecto al otro.

Los equipos de recepción GPS “DIMENSION” pueden realizar posicionamientos diferenciales, que en el post-proceso pueden relacionarse con vértices de coordenadas conocidas con respecto a un sistema de referencia geodésico definido, siempre que se hayan observado dichos vértices en la misma sesión.

Los métodos de levantamiento geodésico usados por el receptor “DIMENSION” son: estático, pseudocinemático y cinemático.

El método estático utiliza intervalos de grabación de épocas de 20 segundos, mide los vectores entre dos receptores GPS que estén enlazados simultáneamente a varios satélites en común.

El levantamiento estático requiere un tiempo relativamente largo de sesión, típicamente de una a tres horas, para obtener observaciones redundantes. Este método de levantamiento es el más confiable y exacto, produce diferencias de coordenadas para los sitios observados a nivel milimétrico.

El método de levantamiento pseudocinemático requiere que los receptores ocupen los puntos a medir en por lo menos dos periodos cortos de observación, regularmente de cinco a diez minutos y con intervalo de grabación de 10 segundos, separando cada observación por un periodo de por lo menos una hora entre ambas colectas de datos en cada sitio, con el mismo receptor.

Este método no requiere enlace satelital continuo mientras el receptor en movimiento se traslada de un punto a otro. Con éste método se puede trabajar en áreas con obstrucciones en la ventana de observación a lo largo de la ruta de traslado entre puntos.

La ventaja de éste método de levantamiento sobre el estático y el cinemático es el menor tiempo de ocupación del sitio y el hecho de no tener que mantener el enlace satelital mientras se traslada el receptor respectivamente.

El método de levantamiento cinemático facilita la medición rápida de un gran número de líneas base en áreas donde existe buena visibilidad de satélites (ventanas de observación sin obstáculos).

Las mediciones cinemáticas son iniciadas ocupando una línea base conocida para resolver las ambigüedades de fase del satélite (número inicial de ciclos entre el satélite y el receptor).

Si la línea de inicialización no está integrada por puntos de coordenadas conocidas se debe realizar un intercambio de antenas entre ambos sitios (como se explico en el capítulo anterior).

Después de resolver las ambigüedades de inicio mediante el inyectado de antenas, regrese los receptores a su posición original estableciendo el receptor base durante todo el desarrollo de la sesión de levantamiento en su sitio original (punto conocido) y mueva el otro receptor a través de una serie de puntos por breves observaciones (2 a 3 minutos), finalmente regrese el receptor en movimiento al sitio original ubicado en la línea base, para que sirva de comprobación y de cierre del levantamiento

Los levantamiento cinemáticos no son tan fáciles de realizar debido a que se debe tener un contacto permanente con mínimo cuatro satélites durante la sesión incluyendo durante el tiempo de traslado del receptor móvil. Sin embargo son tan exactos como los levantamientos estáticos de una hora, sin la duración tan larga de los mismos y ofrecen en control de primer orden para los puntos medidos.

Los levantamientos estáticos rápidos sólo pueden realizarse con equipos de recepción de código P (de dos bandas). Los tiempos de observación con éste método son de dos minutos por kilómetro de separación entre los puntos a medir, con una sesión mínima de 10 minutos y un intervalo de grabación de épocas de 10 segundos con buena geometría satelital garantizada con un PDOP $\mu$ 5 (Dilución de precisión por posición).

Es un levantamiento de tiempos cortos, en líneas largas y con bastante precisión, sólo que con el receptor "DIMENSION" no puede realizarse.

Los cuatro métodos de levantamiento pueden ser combinados en un proyecto de medición, teniendo especial cuidado en reconocer los sitios, tiempos de viaje o traslado de receptores y visibilidad satelital.

### **Establecimiento del sistema**

Para establecer el equipo de recepción GPS "DIMENSION" en el sitio a observar se deberá realizar el siguiente procedimiento:

- 1.- Localice la marca a medir considerando que el sitio deberá proporcionar una clara recepción de las señales GPS, verificando que las posibles obstrucciones se ubiquen como máximo a 15 grados por encima de la línea del horizonte.
- 2.- Establezca un tripie con un adaptador tribach (base nivelante) y plomada óptima. Centre y nivele el tripie y la base nivelante sobre la marca.
- 3.- Monte la antena-receptor en el disco de poder (batería) y a su vez ésta en el tribach.
- 4.- Mida la altura de la antena (ANH).

- 5.- Repita éstos pasos (1,2,3 y 4) para todos u cada uno de los receptores participantes en el levantamiento.
- 6.- Establezca los parámetros de operación el receptor, conecte la unidad de control y despliegue (CDU) al puerto serial “A” de la antena-receptor.
- 7.- Coloque los interruptores de poder de los receptores en “ON” (Encendido).

### **Uso y manejo de la unidad de control y despliegue**

La Unidad de Control y Despliegue (CDU) permite al usuario, mediante el uso de software DIME, introducir información del sitio, parámetros de control y monitorear el estado de operación del receptor.

Este software se despliega a través de un menú o lista de opciones, de la cual el usuario selecciona un artículo (renglón) y éste lo guiara a otra lista de opciones más detalladas y en ciertas ocasiones se requerirá introducir datos específicos para el levantamiento.

La primera exhibición que muestra el software “DIME” es la pantalla del menú principal o pantalla cero (Fig. 5.2) en donde se presentan cuatro opciones:

#### **Figura 5.2 Menú Principal**

- 1.- Parámetros de medición.
- 2.- Diferencial de tiempo real en navegación.
- 3.- Estatus de operación.
- 4.- Control del receptor.

Si se presiona el número que corresponde a cualquiera de las cuatro opciones del menú, el programa le presentará otra pantalla que enlista opciones o instrucciones apropiadas a la selección realizada.

Si se desea salir de alguna pantalla, sólo se presiona la tecla ESC (Escape) y se regresa a la pantalla previa, sin conservar ningún cambio que se haya hecho en dicha pantalla y si se continua presionando ESC, eventualmente regresará a la pantalla de apertura.

Presionando ENTER (Entrar) se introducen los parámetros solicitados en la opción seleccionada, o se exhibe la información de las pantallas de despliegue.

La pantalla uno o submenú uno (Figura 5.3) exhibe un listado para introducir los parámetros iniciales del levantamiento.

Para los métodos de levantamiento cinemático y pseudocinemático el usuario deberá acudir a la pantalla 1-7 y 1-8 donde se establecerán los parámetros operacionales de dichos métodos, respectivamente.

La pantalla 1 le permite al usuario definir el arreglo y los parámetros iniciales para medición, tales como; identificación del sitio, intervalo de grabación, etc.

- 1.- SITE ID: Esta selección citada en la Pantalla 1-1 el cual le permite a usted introducir la información de identificación del sitio.
- 2.- RCRD INT: Citado en la Pantalla 1-2, el cual le permite a usted introducir al intervalo de grabación.
- 3.- ANT HT: Citado en la Pantalla 1-3, el cual le permite a usted introducir la altura de la antena.
- 4.- MIN SV: Citado en la Pantalla 1-4, el cual le permite a usted definir el número de Satélites Visibles para computación.
- 5.- EL MASK: Citado en la Pantalla 1-5, el cual le permite a usted definir la elevación de la máscara (carátula).

### **Figura 5.3 Submenú ó Pantalla Uno**

- 6.- SV SEL: Citado en la Pantalla 1-6, el cual le permite a usted especificar la selección automática de Satélites Visibles.
- 7.- PSDO KIN OPTION: Citado en la Pantalla 1-7, el cual le permite a usted definir los parámetros para la opción pseudocinemática.
- 8.- KINEMAT: Citado en la Pantalla 1-8, el cual le permite a usted definir los parámetros para la opción cinemática.
- 9.- DIFF OPT: Citado en la Pantalla 1-9, el cual le permite a usted definir los parámetros para la opción diferencial.
- 10.- VIEW PRM: Citado en la Pantalla 3, el cual le permite a usted checar su estatus operacional en curso.

## **CAPITULO 6**

### **RED GEODESICA NACIONAL ACTIVA**

El sistema Geodésico Nacional de Referencia se encuentra en proceso de cambio regulado por la instancia nacional rectora, normativa y coordinadora de los servicios nacionales de información geográfica y responsable de la información geodésica, que es el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), conforme a la información que se expondrá en el presente capítulo.

La geodesia ha superado su base geométrica inicial, en particular por los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) que han venido a revolucionar la medición geodésica, mediante la aplicación de alta tecnología, sustituyendo ventajosamente a los sistemas de posicionamiento astronómico, triangulación, trilateración, poligonación e inclusive los de posicionamiento Doppler.

Actualmente la geodesia se desenvuelve en el contexto de procesos físico-dinámicos fundamentales, pasando de la bidimensionalidad de los sistemas de posicionamiento horizontal, a integrar la dimensión vertical, antes un tanto separada y agregando el elemento temporal como una cuarta dimensión intrínseca a los modernos sistemas de posicionamiento.

Hasta la fecha y durante la mayor parte del presente siglo, México ha desarrollado su información geodésica a partir del Datum Norteamericano de 1927 (NAD 27), referenciado al Elipsoide Clarke de 1866, el que por su propia naturaleza y concepción original resulta un tanto inadecuado e incompatible con los sistemas de posicionamiento de alta tecnología que actualmente se usan.

#### **Red geodésica nacional**

La Red Geodésica Nacional que actualmente opera en nuestro país se conceptualiza, conforme a las Normas Técnicas para Levantamientos Geodésicos, publicadas en el Diario Oficial de la Federación el primero de Abril de 1985, como el “conjunto de puntos situados sobre el terreno, dentro del ámbito del territorio nacional, estableciendo físicamente mediante monumentos permanentes, sobre los cuales se han hecho medidas directas y de apoyo, de parámetros físicos, que permiten su interconexión y la determinación de su posición y altura, así como el campo gravimétrico asociado, en relación con un sistema de referencia dado”.

México, en 1913 suscribe con los gobiernos de Canadá y los Estados Unidos de América un convenio para uniformizar los sistemas geodésicos de los tres países y con ello integrar una red geodésica continental, mediante levantamientos de primer orden utilizando métodos tradicionales. Desde entonces y de acuerdo al convenio, nuestro país adopta el Elipsoide de Clarke de 1866, así como el Datum Geodésico Horizontal que posteriormente se denominó Datum Norteamericano de 1927 (NAD 27), considerados entonces como la mejor aproximación geométrica a la forma del globo terrestre y oficializado conforme a las Normas Técnicas anteriormente citadas.

Para 1957 los trabajos geodésicos, que ya contaban con una red geodésica nacional (RGN), se concretaron al levantamiento de varias cadenas de triangulación que aumentaron la densidad de la RGN con unos 600 vértices de primer orden y 12 determinaciones de acimut Laplace, haciendo posible que la Comisión Intersecretarial Coordinadora del Levantamiento de la Carta Topográfica de la República Mexicana, fundada en 1955, llevara a cabo la elaboración de la Carta General de México a escala 1:500,000 actualmente en uso.

Actualmente y debido en gran parte a la necesidad de contar con cartas topográficas a mayor escala (1:50,000) la RGN en lo que respecta a posicionamiento horizontal está conformada por 779 vértices de triangulación de primer orden, 104 vértices de poligonal geodésica del mismo orden, 5 111 vértices de poligonal de segundo orden y 223 estaciones Doppler.

El Datum NAD 27 se estableció aproximadamente al centro del territorio estadounidense, para evitar errores y distorsiones en dicha superficie, escogiendo como punto Datum el vértice Meades Ranch ubicado en el estado de Kansas, determinando su posición geodésica desde la estación “PRINCIPIO” ubicada en el estado de Maryland y perteneciente a la cadena de Nueva Inglaterra, con el tiempo y varios levantamientos geodésicos se terminó de ajustar en 1927, constituyendo un sistema de referencia único, determinado Datum Norteamericano de 1927 en el Elipsoide de Clarke.

Los parámetros básicos adoptados para el punto Datum del NAD 27 fueron:

Semieje mayor del Elipsoide	6'378,206.4 m
Semieje menor del Elipsoide	6'356,583.8 m
Latitud de origen	39° 13' 26.686”
Longitud de origen	98° 32' 30.506”
Desviación de la vertical en el meridiano	-1.02”
En el primer vertical	-1.79”
Altura Geoidal en el origen	0.00
Acimut del origen a la estación Waldo, medido desde el Sur	75° 28' 09.24”

Estos parámetros son puramente geométricos, el datum es solamente bidimensional, por su naturaleza es un datum local con altura geoidal arbitrariamente definida, al hacer coincidir la superficie del geoide en el punto datum.

El ajuste realizado entre 1927 y 1932 advirtió que estaciones alejadas del punto datum podrían tener errores acumulados significativos, lo que afectó a México y a los demás países adheridos a este Sistema de Posicionamiento Continental y sobre todo, porque en dicho ajuste no se incluyeron datos de la RGN mexicana.

En 1974 México participó con información de su red geodésica para obtener una redefinición de un nuevo datum, en virtud de las circunstancias anteriores que dieron origen a una red poco confiable, pero no resultó particularmente beneficiado por la baja densidad de los levantamientos, la extensa superficie de la frontera Norte y la carencia de un perfil geoidal adecuado en el área mexicana, además de que el reajuste prestó más interés a los territorios de Canadá y Estados Unidos de América nuevamente. Este reajuste dio como resultado que Estados Unidos de América y Canadá adoptaran el NAD 83 como nuevo marco de referencia, pero México no lo hizo porque en los levantamientos geodésicos del reajuste de 1974 se consideraron fijas las coordenadas

con que contaba la RGN ajustándose a ellas el nuevo marco de referencia y trayendo consigo discrepancias de origen compensadas y distribuidas en todos los vértices. El avance tecnológico que comprende al Sistema de Posicionamiento Global supera en mucho la precisión interna de la Red Geodésica Nacional y esto obligó a concebir por mexicanos un sistema tridimensional dinámico que garantice la consistencia y alta precisión uniforme de los levantamientos, empleando técnicas de posicionamiento GPS y con ello establecer una nueva red geodésica denominada Red Geodésica Nacional Activa (RGNA).

### **Red geodésica nacional activa**

El datum oficial de referencia NAD 27 ya cumplió su cometido, permitiendo el desarrollo de la cartografía topográfica básica de México a diversas escalas. Pero la demanda actual de cartografía de mayor precisión, a la luz de la nueva tecnología, el auge de los sistemas de información geográfica (SIG) y la creciente necesidad de apoyo a la investigación geográfica, requieren de posicionamientos altamente precisos y su ubicación en un sistema geodésico de referencia, que por sus defectos, anteriormente descritos, ya no puede ser el NAD 27 para el caso particular de nuestro país.

Es necesario mencionar que la tecnología de GPS tiene su base de referencia geodésica en el WGS 84 (Sistema Geodésico Mundial de 1984) desarrollado en este año en Estados Unidos de América.

Por lo anteriormente expuesto, si los actuales levantamientos geodésicos usando el sistema GPS se referencian al NAD 27 tendrán los mismos defectos de precisión, errores e incertidumbres de este.

Actualmente, por las bondades que se han descrito, esta proliferando en el ámbito mexicano y siendo adoptada la tecnología GPS, dentro del sector oficial, académico y privado.

Entre los primeros que se tiene noticia son el INEGI, la secretaría de Pesca, Petróleos Mexicanos, el Instituto Nacional de Antropología e Historia, la Comisión Federal de Electricidad, la Secretaría de la Reforma Agraria, la Secretaría de la Defensa Nacional, Aseguradora Mexicana (ASEMEX), Alcatel, Indetel, Peñoles, Gobierno del Estado de Baja California, Universidad Nacional Autónoma de México y por lo menos 15 empresas del sector privado.

Lo anterior implica que ya está dando el cambio de sistema de referencia, pues el sistema GPS tiene su base en el WGS 84 y si todos éstos usuarios realizan levantamientos y navegación de la más alta precisión y transforman sus datos colectados al NAD 27, equivaldría a referir datos muy buenos en un marco malo.

Para cambiar el sistema de referencia, se requiere estar asociados a un esquema global que permita la referenciación de coordenadas en cualquier parte del mundo y dentro del territorio nacional, así como el mejoramiento de la precisión y la calidad, además de reducir significativamente los tiempos de ocupación en los levantamientos. Todo ello es posible al emplear el sistema GPS.

El marco de referencia WGS 84 y GRS 80 está definido dinámicamente con el centro de masa terrestre coincidente con el centro geométrico del elipsoide y es tridimensional.

En la actualidad, el único estándar disponible de igual o superior precisión que el GPS (en consecuencia WGS 84 y GRS 80), se apoya en las técnicas de medición por Interferometría de Bases Muy Largas (VLBI) y la medición láser satelitaria (SLR).

El Servicio Internacional de Rotación de la Tierra (IERS), el cual emplea tecnología VLBI y SRL, desarrolló un sistema de referencia denominado ITRF 92 (International Earth Rotation Service, Terrestrial Reference Frame of 1992) que es una forma de referencia terrestre que se obtuvo como resultado de la combinación de varias soluciones globales tridimensionales y fué puesto como patrón para referir todos los trabajos geodésicos.

El ITRF 92 es un sistema dinámico de referencia, en el sentido de que varia con el tiempo por pequeños desplazamientos del centro de masa terrestre por efectos geodinámicos diversos.

En consecuencia y debido en gran parte a la rigurosidad con que se ha determinado, el sistema geodésico de referencia que se adopta para México es el ITRF 92, época 1988.0 en el GRS 80, esto es, para la época que se inicia a las cero horas del primero de Enero de 1988.

El ITRF 92 al estar asociado con el GRS 80 y siendo éste último prácticamente igual al WGS 84, garantiza la compatibilidad con el NAD 83, para efectos de correspondencia cartográfica a lo largo de la frontera norte, así como en la frontera sur, ya que en América Central muy probablemente estará también referenciada al NAD 83.

Los levantamientos con estaciones ubicadas extracontinentalmente, inclusive, empleando el ITRF 89 registran precisiones promedio mejor que una parte en cien millones.

Por todo lo anteriormente expuesto, el INEGI se evocó a la tarea de materializar la Red Geodésica Nacional Activa (RGNA) definiendo coordenadas tridimensionales (Figura 6.1) en puntos física y estratégicamente establecidos en el terreno, usando el ITRF 92, época 1988.0 y el GRS 80.

El uso del Sistema GPS modifica radicalmente el esquema de los métodos de medición convencionales, en los que se debe ocupar inicialmente un punto de coordenadas conocidas y

**Figura 6.1 Estaciones Fijas de la Red Geodésica Nacional Activa  
(Tomado de INEGI, 1994)**

contar con una orientación inicial, para de ahí desprender el nuevo levantamiento propagando las posiciones geográficas dentro de un modelo incremental punto por punto y con ello también se propagan los errores que en forma natural ocurren. Con el uso de este sistema (GPS) pueden ocuparse simultáneamente la estación conocida y las nuevas estaciones de la RGNA requeridas, en donde se ocupan las coordenadas de la estación inicial y los datos derivados en ella de las observaciones satelitales. El resultado es un posicionamiento diferencial relativo de muy alta precisión entre la estación conocida y las nuevas estaciones.

El criterio para el establecimiento de las estaciones fijas de la RGNA fue asegurar el cubrimiento nacional, de modo que cualquier punto ubicado en el área continental mexicana tenga acceso a la información de por lo menos una estación de la red, considerando un radio de cubrimiento de 500 km por estación, especificado como máximo para el procesamiento en el sistema GPS.

Se decidió establecer 14 estaciones fijas, geométricamente bien distribuidas, garantizando el máximo cubrimiento con redundancia, o sea, el mínimo inconveniente si alguna de ellas interrumpiera su operación. Esta cobertura puede apreciarse en Cuadro 6.1, por entidad federativa y que estaciones fijas los servirán.

Durante el año de 1992, dentro del marco de un proyecto cooperativo de co-observación con el National Geodetic Survey (NGS) de los Estados Unidos de América, para efectuar ligas altamente precisas entre ambos países, se realizó la determinación de coordenadas en el ITRF 89 de siete puntos ubicados en Aguascalientes, Ags.; Cadereyta, N.L.; Jiménez, Chih.; Jcotitlán, Méx.; Rio Verde, S.L.P. y San Miguel Xico, Méx., los cuales posteriormente se llevaron al sistema ITRF 92 y produjo resultados con una precisión relativa de orden A, o sea, de una parte en diez millones, lo que constituyó el establecimiento de estaciones de referencia de alta precisión, las cuales fueron comprendidas, en enero de 1993, dentro del levantamiento para posicionar las estaciones fijas de la RGNA.

### **Cuadro 6.1 Coordenadas de las Estaciones Fijas de la Red Geodésica Nacional Activa**

(Tomado de INEGI, 1994)

**Coordenadas Geocéntricas de la Red de Estaciones Fijas con valores referidos a ITRF92, época 1998.0 y elipsoide GRS80.**

Nombre de la Estación	Ubicación	Latitud Norte (° ‘ “)	Longitud Oeste (° ‘ “)	Altura Elipsoidal (m)	Altura Ortométrica (m)
COLI	Colima, Col.	19 14 56.90195	103 43 05.64633	513.117	529.2080 SNMM
CULI	Culiacán, Sin.	24 47 54.79135	107 23 02.18737	75.416	102.9860 SNMM
CHET	Chetumal, Q. R.	18 29 42.99710	88 17 57.20192	3.070	9.9696 SNMM
CHI2	Chihuahua, Chih.	28 39 18.90199	106 06 43.61168	1463.582	1487.4561 SNMM
FMTY	Monterrey, Mty.	25 40 38.81116	100 17 07.82941	497.670	516.6754 SNMM
HERM	Hermosillo, Son.	29 05 59.73965	110 56 27.34598	209.318	242.1110 SNMM
INEG	Aguascalientes,	21 51 22.15594	102 17 03.12353	1889.311	1903.1008 SNMM
LPAZ	Ags.	24 08 19.66367	110 19 09.62510	-6.821	25.969 SNMM
MERI	La Paz, B.C.S.	20 58 48.16303	89 37 13.13563	8.036	21.5109 SNMM
MEXI	Mérida, Yuc.	32 37 58.76261	115 28 32.51760	-22.459	12.3690 SNMM
OAXA	Mexicali, B.C.	17 04 49.64051	96 43 09.50637	1596.044	1597.0459 SNMM

<b>TAMP</b>	Oaxaca, Oax.	22 16 41.95931	97 51 50.48359	21.051	37.5745 SNMM
<b>TOLU</b>	Tampico, Tam.	19 17 24.61420	99 38 18.54849	2649.352	2654.2490 SNMM
<b>VILL</b>	Toluca, Mex. Villahermosa, Tab.	17 59 45.92350	92 54 47.83608	21.225	31.7025 SNMM

<b>Nombre de la Estación</b>	<b>X (m)</b>	<b>Y (m)</b>	<b>Z (m)</b>
<b>COLI</b>	-1428631.7740	-5852387.7080	2089574.6580
<b>CULI</b>	-1730936.5342	-5528855.2810	2658865.7097
<b>CHET</b>	179584.9640	6048080.1560	2010447.4140
<b>CHI2</b>	-1554806.2529	-5382481.0273	3041128.6547
<b>FMTY</b>	-1027100.5645	-5659906.5007	2747116.0290
<b>HERM</b>	-1993478.9758	-5209236.3973	3083685.2876
<b>INEG</b>	-1260435.7326	-5788548.4809	2360340.6585
<b>LPAZ</b>	-2022282.7840	-5461274.5760	2592316.8680
<b>MERI</b>	39480.9600	-5957733.2638	2269335.1769
<b>MEXI</b>	-2312590.6411	-4853743.8990	3419740.2871
<b>OAXA</b>	-713745.2674	-6058205.1443	1861815.3031
<b>TAMP</b>	-807922.2490	-5849358.2680	2402967.7860
<b>TOLU</b>	-1008730.6482	-5939707.5412	2094568.2156
<b>VILL</b>	-308406.5891	-6060220.0660	1957979.4327

Una vez que se procesó toda la información del levantamiento y se determinaron las coordenadas (Cuadro 6.2) de las 14 estaciones fijas, se inició la operación formal y permanente e la RGNA a las 12:00 hrs del día 19 de Febrero de 1993, en forma simultánea y que desde entonces ha estado operando en forma continua.

En Marzo de 1993 se efectuó una liga entre la RGNA y 300 vértices de la RGN anterior, para desarrollar los modelos y algoritmos de transformación entre el NAD 27 y el ITRF 92, con el propósito de correlacionar la cartografía y levantamientos existentes en el NAD 27 con los productos cartográficos producidos en el ITRF 92.

La última etapa para implementar el cambio en su oficialización, para ello se seguirán todos los procedimientos normativos y administrativos necesarios para que se agregue a las Normas Técnicas para Levantamientos Geodésicos.

## **CAPITULO 7**

### **DISCUSIÓN**

El presente documento se origina a partir de la memoria profesional del autor como Instructor Estatal del Programa de Certificación, de Derechos Ejidales y Titulación de Solares Urbanos (Procede), llevado a cabo por el Instituto Nacional de Estadísticas, Geografía e Informática (INEGI), de magnitud nacional y con el propósito de realizar el levantamiento geodésico-topográfico de la totalidad de las tierras de tenencia social (ejidos y comunidades agrarias) clasificadas en: tierras de uso común, parceladas, del asentamiento humano, de explotación colectiva y solar urbano individual. Para con ello elaborar los productos cartográficos correspondientes a cada clase de tierra y que estos fueran el insumo técnico para la emisión de los respectivos certificados de derechos ejidales y títulos de solar urbano, conforme a las reformas efectuadas al artículo 27 constitucional y la promulgación el 26 de Febrero de 1992, de la nueva Ley agraria, reglamentaría del artículo 27.

La promulgación de dicha ley puso en marcha un operativo para medir el cincuenta por ciento de la superficie que conforma el territorio nacional, la cual se encuentra en manos de poco más de 3.5 millones de ejidatarios y comuneros, los cuales poseen aproximadamente 4.6 millones de parcelas y 4.3 millones de solares urbanos, constituidos en más de 29 mil ejidos y comunidades agrarias.

Por las grandes dimensiones de este operativo de regularización de tenencia de tierra, sin precedentes, fue necesario recurrir al sistema de posicionamiento global para establecer el control geodésico de dicha superficie mediante la implementación de métodos confiables y altamente preciso, situación que garantizan, por demás, los equipos de recepción GPS.

El empleo del sistema GPS trajo consigo la necesidad de establecer un marco de referencia geodésico confiable y adecuado a la alta tecnología aplicada en los levantamientos, de lo contrario se realizarían mediciones muy buenas referenciadas a un sistema geodésico muy malo.

Esto último generó que se proyectara la implementación de una nueva red geodésica nacional que lograra satisfacer la demanda a la que se esta sometiendo a la actual red geodésica con la puesta en operación de las actividades técnico-operativas, del PROCEDE.

En una primera etapa se supervisó el estado de conservación de la RGN, detectándose que se encuentra semidestruida e inaccesible en su mayor parte y existe poca cobertura en las regiones Sur y Sureste del territorio nacional.

En una segunda etapa se establecieron 14 estaciones fijas de la probable nueva red geodésica y se posicionaron 300 vértices geodésicos bien conservados de la RGN.

En una tercera etapa se puso en operación la RGNA y se establecieron algo más de 15,000 monumentos geodésicos ligados a la misma, con el objetivo de propagarla y hacerla aún más accesibles para los usuarios.

En una última etapa se pretende la oficialización de la RGNA y actualmente se proyecta la transformación o referenciación de la cartografía existente a la nueva red.

La RGNA trae consigo un espléndido control horizontal e íntimamente ligado un excelente control vertical, caso contrario de la RGN en la que el control horizontal se encuentra un tanto separado del control vertical, este último estrechamente asociado al campo gravimétrico del vértice de la red geodésica, además la RGNA añade el elemento temporal necesario por estar basado en un sistema dinámico de referencia.

La adquisición de nuevas tecnologías, como la presentada en este documento, requiere de personal capacitado para su operación y esto demanda que los centros de educación superior, relacionados con la materia, la atraiga hacia ellos con fines de aplicación en docencia, investigación y desarrollo, como es el caso de la Universidad Autónoma de Chapingo, que sostiene un convenio con el INEGI, mediante el cual la Universidad recibe apoyo respecto a la puesta al día en innovaciones tecnológicas.

Mediante la adopción de la nueva RGNA, México supera los errores de construcción, referenciación y propagación de la RGN oficial, se encuentra a la vanguardia en cuanto a sistemas de referenciación geodésica y a la par con la tendencia mundial a adoptarlos, garantiza la conservación, de la red y permite una interacción más ágil con los usuarios de la misma.

## **CAPITULO 8 CONCLUSIONES**

Los sistemas geodésicos de referencia se han revolucionado y avanzado a pasos agigantados desde el surgimiento de la era satelital, primero estableciendo estaciones Laplace, VLB1 y Doppler, pero en la actualidad se han aplicado altas tecnologías para el establecimiento de sistemas de referencia mundiales empleando constelaciones de satélites GPS que ofrecen señales para la ubicación, con alta precisión, de sitios, mediante procedimientos diferenciales o puntuales referidos a una figura geométrica dinámica que tiende a ser la más apropiada, matemáticamente hablando, y que día tras día gana más adeptos a nivel mundial.

Los sistemas de posicionamiento global ofrecen una gran cantidad de bondades, mediante las cuales hacen obsoletos los métodos convencionales de levantamiento geodésico como son:

- 1.- Permiten el establecimiento de estaciones y marcas topográficas que no tengan la característica de intervisibilidad entre ellas.
- 2.- Reducen considerablemente los tiempos del levantamiento.
- 3.- Los equipos de recepción, prácticamente pueden operar en cualquier condición atmosférica y geográfica.
- 4.- Este sistema permite diseñar geoméricamente las redes geodésicas de acuerdo a las necesidades de los usuarios, sin importar accidentes geográficos.
- 5.- Los equipos de recepción son portátiles y de operación sencilla.
- 6.- Se pueden propagar coordenadas geográficas o geodésicas sin arrastrar ni acumular errores de referenciación, dado que cada estación se establece diferencialmente mediante el post-proceso de la información colectada para el día y la sesión programada.
- 7.- Los equipos de recepción de dos bandas o frecuencias no se ven significativamente afectadas por los fenómenos ionosféricos.
- 8.- Es sumamente sencillo programar las sesiones de levantamiento, dado que los receptores colectan el almanaque de disponibilidad satelital estimado, directamente de la señal emitida por los satélites, pudiendo actualizarse cotidianamente y realizar la planeación de la misión de acuerdo a las necesidades del usuario.
- 9.- Pueden combinarse equipos de recepción de una o dos frecuencias dentro de un mismo levantamiento.
- 10.- Los puntos del levantamiento pueden ligarse a la red geodésica del país durante el post-procesamiento de la información colectada en la sesión.
- 11.- Ofrece el establecimiento de líneas base de muy alta precisión, para ser empleadas, de ser necesario, interactuando con otros métodos de levantamiento que utilicen fotografía aérea, estación total, geodímetros, fotomapas, teodolitos, etc.

- 12.- Genera archivos que pueden ser grabados en medios magnéticos y así contribuir al desarrollo de Sistemas de Información Geográfica digitales, actualmente en desarrollo en varios países.

Las limitaciones que puede traer consigo el uso del sistema GPS son:

- 1.- La obtención de resultados no deseados, por el desconocimiento o conocimiento inadecuado del sistema.
- 2.- Efectos ionosféricos diferenciales que no sean detectables y reduzcan la precisión de los levantamientos.
- 3.- Uso de algoritmos de transformación inadecuados, que diluyan la precisión obtenida, al transformar datos de un sistema de referencia a otro.
- 4.- El no detectar la caída de datos durante el desarrollo de la sesión o no operar los equipos de recepción de acuerdo a la normatividad del método de levantamiento utilizado.
- 5.- Pérdida de contacto satelital al trasladar los receptores móviles cuando el método de levantamiento lo requiera.

El uso del sistema GPS contribuye, en lo particular, en México en el establecimiento de la Red Geodésica Nacional Activa (RGNA) para superar los errores de construcción y propagación de la actual red geodésica nacional y con ello generar un marco geodésico de referencia moderno, adecuado y compatible con el uso de equipos receptores GPS, del más alto nivel tecnológico y a la vanguardia en materia de geodesia para nuestro país.

La RGNA permitirá la colaboración con organismos de investigación que trabajan con equipos GPS, para estudios sobre movimiento de la corteza terrestre, actividad sísmica y otros fenómenos geofísicos. Así como, controlar y supervisar la navegación marítima, terrestre y aérea, apoyar los métodos de levantamiento convencional y brindar apoyo terrestre a la fotografía aérea.

Es responsabilidad de los centros de educación superior capacitar al profesionista en el uso y manejo de los receptores GPS, así como en el post-proceso de la información colectada y debe adquirirse el conocimiento básico del funcionamiento del Sistema de Posicionamiento Global, objetivo primordial de la presente memoria profesional, dado que en la actualidad existe una gran demanda de personal calificado para la operación de dichos equipos.

## CAPITULO 9

### RESUMEN

El Sistema de Posicionamiento Global fue diseñado a partir de una figura matemática dinámica, que se ajustara lo más posible a la forma de la Tierra, teniendo su origen en el centro de masas de la misma y empleando satélites en órbitas conocidas, monitoreados y controlados permanentemente, para mediante los radiomensajes que emiten poder realizar posicionamientos diferenciales entre sitios, de muy alta precisión.

Posteriormente y con base en la operación y funcionamiento de las estaciones de control del sistema GPS, se crearon equipos de recepción para usuarios, ligeros, compactos y fáciles de operar, con los que se pueden realizar levantamientos geodésicos o topográficos de la más alta calidad, disponible hoy en día.

Debido en gran parte a que la ubicación precisa de los sitios, marcas topográficas o receptores en movimiento no requieren de intervisibilidad, porque su funcionamiento se basa en la colecta de datos emitidos por los satélites GPS visibles, en un receptor portátil, a través de un techo de observación satelital, localizado en la antena receptora montada en un disco o plato y ubicada precisamente sobre el sitio a determinar; esto permite realizar una amplia variedad de mediciones donde se puede conservar un perfecto diseño geométrico sin importar la geografía del lugar y solo cuidando que no existan obstáculos que obstruyan o impidan la recepción de las señales satelitales en cada uno de los puntos a levantar y en los traslados de los receptores, si así lo requiere el método de medición seleccionado.

Para la realización de un levantamiento, utilizando receptores GPS, se debe tener especial cuidado en la planeación de la sesión y la selección del método de medición a utilizar, considerando que se debe realizar cuando el PDOP sea mayor de cinco, los satélites disponibles y con señal en buen estado sean más de cuatro, el horario de disponibilidad satelital sea lo suficientemente amplio teniendo en cuenta los tiempos de traslado de los equipos receptores y el método seleccionado de medición, que no existan equipos radiotransmisores, radios, antenas de alta tensión y estanques o lagos cercanos al sitio a determinar para evitar la caída de datos o épocas durante el levantamiento. Con todo esto garantizamos una excelente colecta de información, la cual en el post-procesamiento debe ser procesada por personal calificado que tenga un buen conocimiento del funcionamiento del sistema GPS y del marco de referencia a utilizar.

El Sistema de Procesamiento Global trajo consigo que los marcos de referencia geodésicos que existían, dada su forma de determinación, fueran obsoletos a la luz de las nuevas tecnologías y propició que México transformara su sistema de referencia geodésico del datum NAD 27 dentro del elipsoide de referencia Clarke de 1866 al ITRF 92, época 1988.0 en el elipsoide GRS 80, logrando con esto superar la propagación de errores de que fue objeto la Red Geodésica Nacional y así contar con un nuevo marco de referencia que satisfaga las demandas actuales de los usuarios y de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) que actualmente se desarrollan.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez G. G., Soler T. y Hothem D. L. 1995. Diferencias NAD 83 VS ITRF en la cartografía topográfica sobre la frontera México-E.U.A. Vértices. INEGI. (4): 36 - 42. México.
- Astech. (Sin fecha). Receptor GPS Modelo DIMENSIÓN. Manual de Operación. ASTECH. United States of America. 127 p.
- Astech. (Sin fecha). Receptor GPS Modelo P-12. Manual de Operación. ASTECH. United States of America. 147 p.
- Bannister A. y Raymond S. 1984. Técnicas Modernas en Topografía. Representaciones y Sevicios de Ingeniería. México. 159 - 260 p.
- Brinker R. C. y Wolf P. R. 1982. Topografía Moderna. 6 ed. Harla. México. 347 - 378 p.
- Feria A. G. y Ocampo O. 1995. Subcomité de Fotografía Aérea, Análisis y Orientación Técnica del PROCEDE. Vértice. INEGI. (2): 38 - 42. México.
- Gobierno Cosntitucional de los Estados Unidos Mexicanos. 1993. Nueva Legislación Agraria. 2 ed. PA. México. 144 p.
- Hernández N. A. 1993. ¿Es necesario cambiar el Sistema Geodésico de Referencia de México?. Vértices. INEGI. (3): 21 - 30. México.
- Hernández N. A. 1995. ITRF VS NAD 27. Vértices. INEGI. (4): 22 - 25. México.
- Hernández N. A. y Bugarín G. A. 1995. ¿Reponer, Reajustar o Transformar?. Vértices. INEGI. (7): 16 - 18. México.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Información (INEGI). 1992. El campo a la medida... PRONADELTE. Gaceta Informativa. INEGI. 4(3): 7 - 20. México.
- . 1993. Documento Guía. Programa de Certificación de Derechos Ejidales y Titulación de Solares Urbanos. Manual. INEGI. 20 p. México.
- . 1993. Red Activa, Proyecto Geodésico del INEGI. Gaceta Informativa. 5(2): 19 - 22. México.
- . 1993. Manual de la Brigada de Geodesia. INEGI. 114 p. México.
- . 1993. Manual del Técnico en Geodesia.0 INEGI. 75 p. México.
- . 1994. La nueva Red Geodésica Nacional Activa. Una Visión Hacia El Futuro. INEGI. 30 p. México.
- . 1995. Modernización del INEGI en el PROCEDE. Gaceta Informativa. Número Especial. 118 -125 p. México.
- . 1997. Sistema de Posicionamiento Global GPS. Gaceta Informativa. (2): 22 - 26. México.
- Procuraduría Agraria (PA). 1993. ¿Porqué una crónica del PROCEDE?. Espacios. PA. (3): 12. México.
- Reyes C. P. y Molina C. R. 1995. Los Sistemas de Información Geográfica, una Respuesta Moderna a los Problemas de Referencia espacial. Vértices. INEGI. (6): 27 - 38. México.
- Reyes I. M. 1994. El Sistema de Posicionamiento Global: Una Visión Simplificada. Vértices. INEGI. (5): 13 - 22. México.

Warman G. A. 1995. A través del PROCEDE la libertad de los ejidos se hace concreta y se ejerce. Vértices. INEGI. (2): 2 - 6. México.