

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

COLEGIO DE GEOGRAFÍA



“Establecimiento de una red de alta precisión en México, la Red Geodésica Nacional Activa (RGNA)”

**INFORME ACADÉMICO DE ACTIVIDAD PROFESIONAL
DE INVESTIGACIÓN EN EL ÁREA DE CARTOGRAFÍA**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADO EN GEOGRAFÍA

PRESENTA:

EDUARDO VAZQUEZ ANDRADE

2004



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

COLEGIO DE GEOGRAFÍA



“Establecimiento de una red de alta precisión en México, la Red Geodésica Nacional Activa (RGNA)”

**INFORME ACADÉMICO DE ACTIVIDAD PROFESIONAL
DE INVESTIGACIÓN EN EL ÁREA DE CARTOGRAFÍA**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADO EN GEOGRAFÍA

PRESENTA:

EDUARDO VAZQUEZ ANDRADE



A mis padres: Isabel y Porfirio

Con su ejemplo me enseñaron

que se puede alcanzar lo que se desea.

A mi esposa Rosa María y mis hijos Luis Eduardo y Erik

Ustedes son la energía que me hace seguir siempre adelante.

A mis hermanos: Marco Antonio y David

Por su apoyo y confianza.

Agradecimientos:

A mis amigos y compañeros de trabajo
de la Subdirección de Geodesia y de la
Coordinación de Operaciones de Campo,
de quienes recibí su ayuda y comentarios
para la realización de este trabajo.

A las autoridades del INEGI y del Colegio de Geografía
Por implementar este programa de apoyo a la titulación.

A mis profesores del Colegio de Geografía
Por compartir sus valiosos conocimientos...
Los recuerdo con respeto y admiración.

Al Lic. José Luis Luna Montoya
Por su desinteresado apoyo en la
asesoría de este trabajo.

**INFORME ACADEMICO
DE ACTIVIDAD PROFESIONAL DE INVESTIGACION
EN EL AREA DE CARTOGRAFIA:**

**“Establecimiento de una red de alta precisión en
México, la Red Geodésica Nacional Activa
(RGNA)”**

**EDUARDO VAZQUEZ ANDRADE
NUMERO DE CUENTA 8331208-9
FEBRERO DE 2004**

Índice general	Pág.
Introducción	1
Capitulo 1. Levantamientos GPS.....	3
1.1. <i>Antecedentes.....</i>	<i>3</i>
1.2. <i>Planeación del levantamiento.....</i>	<i>20</i>
1.3. <i>Ejecución.....</i>	<i>22</i>
1.4. <i>Proceso de la información.....</i>	<i>26</i>
1.5. <i>Primer proyecto de levantamiento GPS.....</i>	<i>28</i>
1.6. <i>Cursos de proceso avanzado GPS.....</i>	<i>30</i>
Capitulo 2. Proyecto Arizona-México HARN 1992	
.....	38
2.1. <i>Planeación.....</i>	<i>39</i>
2.2. <i>Levantamiento de las Estaciones.....</i>	<i>41</i>
2.3. <i>Preparación de Archivos G y BlueBook de las estaciones observadas.....</i>	<i>45</i>
2.4. <i>Coordenadas de las primeras estaciones de alta precisión en México.....</i>	<i>49</i>
Capitulo 3. Establecimiento de la Red Geodésica Nacional Activa de México	
mediante GPS	53
3.1. <i>Concepto y Objetivos.....</i>	<i>53</i>
3.2. <i>Levantamiento del 8 de Enero de 1993.....</i>	<i>56</i>
3.3. <i>Complemento de la red.....</i>	<i>59</i>

3.4. Cambios de Estaciones Fijas y proceso de nuevas coordenadas.....	62
3.5. Reajuste de la Red de 1997	66
Capitulo 4. Colaboración de la RGNA en proyectos Internacionales.....	70
4.1. Proyecto SOPAC	70
4.2. Proyectos en Centroamérica y Proyecto SIRGAS	78
Resultados	81
Consideraciones finales.....	85
Bibliografía	88
<i>Paginas WEB relacionadas</i>	<i>90</i>

Cuadro 1.1. Descripción de los tipos de equipos GPS y sus características.....	13
Cuadro 1.2. Archivos generados por observación GPS de receptores Trimble 4000 SST.....	26
Cuadro 1.3. Clasificación de las líneas base o vectores en GPS.....	29
Cuadro 1.4. Proceso de información GPS con software OMNI.....	33
Cuadro 2.1. Programa de observaciones GPS ARIZONA–MÉXICO, HARN 1992.....	40
Cuadro 2.2. Red Mexicana de estaciones de alta precisión, de orden “A”.....	50
Cuadro 2.3. Coordenadas geocéntricas de las primeras estaciones de orden “A”..... referidas al ITRF91.0 época 1988.0 y elipsoide GRS80.....	51
Cuadro 3.1. La Red Geodésica Nacional Activa (RGNA).....	58
Cuadro 3.2. Estaciones integradas posteriormente a la RGNA.....	60
Cuadro 3.3. Cambios de estaciones en la RGNA.....	64
Cuadro 3.4. Estándares de precisión para levantamientos geodésicos tradicionales .	65
Cuadro 3.5. Estándares de precisión para levantamientos con GPS.....	66
Cuadro 3.6. Cambios en la altura de la estación fija INEG.....	67

Índice de figuras	Pág.
Figura 1.1. Red Geodésica Horizontal compuesta por vértices de triangulación y de poligonación.....	4
Figura 1.2. Brigada de poligonación, se puede apreciar el número de integrantes y la cantidad de equipo	5
Figura 1.3. La medida de los ángulos entre vértices requería intervisibilidad de éstos últimos	5
Figura 1.5. Antena Doppler, la banda roja indica la posición del centro de la fase	6
Figura 1.4. Receptor Doppler Magnavox MX 1502.....	6
Figura 1.7. Constelación NAVSTAR.....	9
Figura 1.8. Distribución de las estaciones del segmento de control a nivel mundial	10
Figura 1.9. Aplicaciones del Sistema de Posicionamiento Global	11
Figura 1.10. Diferentes marcas y tipos de equipos GPS (Navegadores, cartográficos, Topográficos y Geodésicos)	12
Figura 1.11. La planeación debía garantizar recibir la señal de mínimo 4 satélites simultáneamente en las estaciones de referencia y de campo	21
Figura1.12. Instalaciones de la compañía TRIMBLE Navigation durante el curso “Advanced Processing Topics”	31
Figura 2.1. Esquema de distribución de las estaciones del Proyecto Arizona-México HARN 1992.....	41
Figura 2.2. Instalación del equipo en la estación DIAZ.....	42
Figura 2.3. Registro de observaciones en la estación DIAZ el 3 de febrero de 1992...	43

Figura 2.4. Esquema de estaciones observadas en el Proyecto Arizona-México HARN 1992.....	44
Figura 2.5. Reunión de brigadas en Durango, Dgo.	48
Figura 2.6. Concepto de posicionamiento GPS para obtener coordenadas geocéntricas X,Y,Z.....	51
Figura 2.7. Esquema de la Red de estaciones de orden “A” establecidas en México.	52
Figura 3.1. Concepto de la nueva Red Geodésica Nacional Activa (RGNA).....	55
Figura 3.2. Vistas de la Estación Fija INEG, ubicada en el edificio sede del INEGI en Aguascalientes.....	58
Figura 3.3. Liga de las estaciones de la RGNA a las estaciones de alta precisión con coordenadas ITRF	61
Figura 3.4. Cambio del equipo de la Estación Fija INEG, se puede observar la antena tipo Choke Ring	68
Figura 4.1. Instalaciones del SCRIPPS Institution of Oceanography en la Universidad de California en San Diego, lugar desde donde opera el SOPAC.....	73
Figura 4.2. Actividad en el curso taller en el Scripps Institution of Oceanography en enero del 2000.....	74
Figura 4.3. Participantes en el curso taller del SOPAC	75
Figura 4.4. Estado del Proyecto SIRGAS en 1995.....	79
Figura 4.5. Esquema del Proyecto SIRGAS 2000	80

Introducción

El presente informe resume los trabajos que se realizaron para lograr el establecimiento de una red de alta precisión en México “La Red Geodésica Nacional Activa” así como la experiencia ganada en diez años de trabajo continuo en la Subdirección de Geodesia, de los cuales, los últimos siete fueron al frente del Área de la Red Geodésica Activa.

A partir de 1990, me integro como técnico operativo en la Subdirección de Geodesia, de la DGG, desde ese momento comencé a participar en la aplicación de las técnicas y procedimientos para el establecimiento de vértices geodésicos de posicionamiento horizontal, empleando distanciómetros de microondas y equipo óptico-mecánico, pero principalmente aplicando la tecnología *Doppler* para el establecimiento de estaciones geodésicas por medios satelitales y posteriormente el Sistema de Posicionamiento Global, cambiando la concepción de lo que debe ser una Red Geodésica de Referencia.

Además de las actividades antes mencionadas, también participé en las siguientes actividades: implementación del Sistema de Posicionamiento Global en la Dirección General de Geografía a principios del año 1991; la realización de los primeros levantamientos GPS de alta precisión en México, el levantamiento y procesamiento de la información de las estaciones que forman parte de la Red Geodésica Nacional Activa (RGNA); la actualización de la RGNA ocasionadas por los cambios en la ubicación de las estaciones de la red y por desplazamientos en las estaciones que obligaron a

recalcular las coordenadas de estas; en la elaboración de los documentos normativos de la RGNA, generados durante el periodo 1993 - 2000, en el que estuve a cargo del área de la Red Geodésica Activa y del control técnico de la RGNA; finalmente en el desarrollo de aplicaciones cartográficas del GPS, en las que se emplea la RGNA como referencia.

El capítulo 1 contiene los antecedentes de la Red Geodésica Nacional, los conceptos generales del Sistema de Posicionamiento Global, así como el inicio de mis actividades en la Subdirección de Geodesia. En el Capítulo 2, se presentan los conceptos de las Redes de Referencia de Alta Precisión, las actividades realizadas en el establecimiento de la primera red de este tipo en México. El capítulo 3 contiene los antecedentes y actividades que se llevaron a cabo para el establecimiento y actualización de la Red Geodésica Nacional Activa. En el capítulo 4, se incluyen los principales proyectos internacionales en los que participó la Red Geodésica Nacional Activa durante el tiempo que estuve a cargo de ésta. Finalmente en los resultados se resumen los principales documentos normativos y de difusión generados durante mi gestión al frente de la Red Geodésica Activa.

Capítulo 1. Levantamientos GPS

La Red Geodésica Nacional constituye la columna vertebral para la elaboración de cartografía en el ámbito nacional, está conformada por las redes de Posicionamiento Horizontal, Posicionamiento Vertical y la Red Gravimétrica (*INEGI-DGG, 1984*).

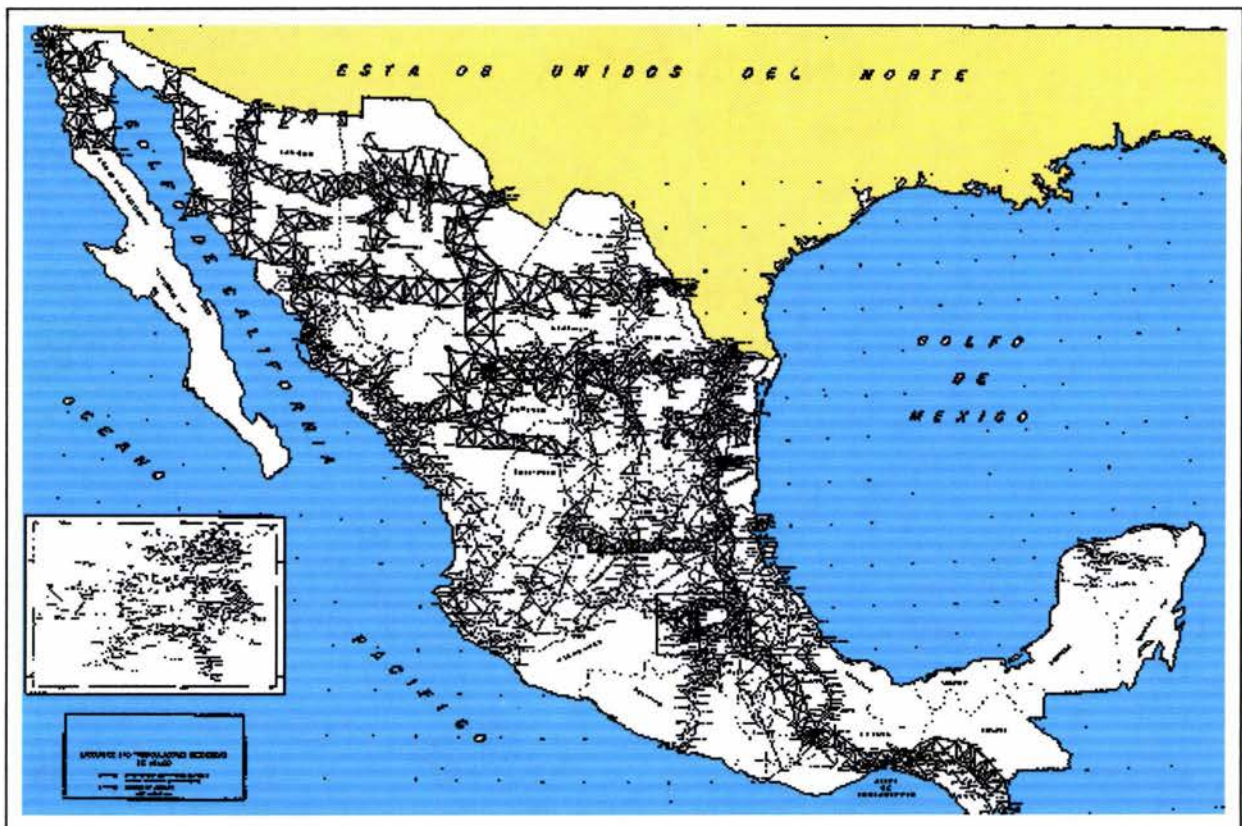
En este capítulo se integran algunos antecedentes históricos de las técnicas utilizadas por la Dirección General de Geografía para el establecimiento de estaciones de primer orden de la red geodésica horizontal, hasta llegar a la aplicación del GPS; se presentan los conceptos básicos del Sistema de posicionamiento Global (GPS) y los procedimientos seguidos para establecer estaciones geodésicas con GPS; se describe el concepto de Redes de Referencia de alta precisión (HARN por sus siglas en inglés), así como la participación que se tuvo en la implementación y desarrollo de esta tecnología en la Dirección General de Geografía.

1.1. Antecedentes

A partir de su creación el 2 de octubre de 1968, y como una necesidad para cumplir con el compromiso de la edición de la Carta Topográfica y de Recursos Naturales escala 1:50 000, la Comisión de Estudios del Territorio Nacional y Planeación o CETENAP, heredó del Cartográfico Militar el resguardo, mantenimiento y densificación de la Red Geodésica Nacional, constituida por los vértices de las cadenas de triangulación establecidas por esa institución hasta entonces (*INEGI- DGG, 1984*).

La CETENAP conocida después como CETENAL o Comisión de Estudios del Territorio Nacional, continuó con el desarrollo de levantamientos geodésicos en sus modalidades de Triangulaciones y Poligonales de primer y segundo orden (figura 1.1.), empleando la tecnología disponible hasta ese momento, la cual consistía en Teodolitos *Wild T2* y *T3* y Distanciómetros *DI10* y *Electrotape DM20*, con este equipo se observaban estaciones con separaciones de 20 a 60 Km, con la finalidad de avanzar en la tarea de densificación de la red, sin embargo las metodologías establecidas para ese tipo de equipos poco ayudaban al desarrollo ágil de trabajos, realizando comisiones de 1 a 3 meses para un desarrollo limitado de densificación.

Figura 1.1. Red Geodésica Horizontal compuesta por vértices de triangulación y de poligonación



Fuente: Banco de datos del departamento de Posicionamiento de la Subdirección de Geodesia, 1989.

NOTA: La falta de detalle se debe a la resolución del escaneo de la imagen original.

La posterior integración de Distanciómetros láser como el *Geodimeter* AGA 8 representó una reducción mínima en los tiempos ya que no se disponía de la cantidad suficiente para dotar a todas las brigadas de apoyo horizontal de la entonces Dirección de estudios del Territorio Nacional (*DETENAL, 1984*).

Así se desarrollaron los trabajos geodésicos de densificación de la Red Geodésica Nacional, con brigadas conformadas de seis a ocho personas y una cantidad excesiva de equipo tanto para medición como para campamento (figura 1.2.), ya que se empleaban varios días o semanas para la medida de un solo ángulo, adicionalmente el requisito indispensable de intervisibilidad de las estaciones, dependía de las condiciones meteorológicas existentes en cada vértice de la poligonal (figura 1.3.), haciendo difícil avanzar en las temporadas de lluvia y en las zonas con excesiva humedad.



Figura 1.2. Brigada de poligonación, se puede apreciar el número de integrantes y la cantidad de equipo



Figura 1.3. La medida de los ángulos entre vértices requería intervisibilidad de éstos últimos

Fuente: Archivo fotográfico del departamento de Posicionamiento, Subdirección de Geodesia, DGG, 1970.

La tecnología continuó avanzando y con el lanzamiento del primer satélite artificial el SPUTNIK 1 por parte de la entonces Unión Soviética el 4 de agosto de 1957, llega la era espacial, la cual trajo consigo el desarrollo de satélites para la observación de la superficie terrestre, como los satélites meteorológicos GEOS, METEOSAT, los de percepción remota LANDSAT, SPOT y los de navegación TSIKADAS y TRANSIT; de estos últimos, la constelación del Sistema Satelital de Navegación Nacional (NNSS) o constelación TRANSIT compuesta de siete satélites activos y desarrollada por la marina de los Estados Unidos de Norteamérica se aplicó a la determinación precisa de posiciones sobre la tierra.

A partir de 1975 la Dirección General de Geografía incorpora equipos Magnavox MX1502 basados en la tecnología *Doppler*, incursionando con ello en la geodesia satelital (figuras 1.4. y 1.5.).



Figura 1.4. Receptor Doppler Magnavox MX 1502

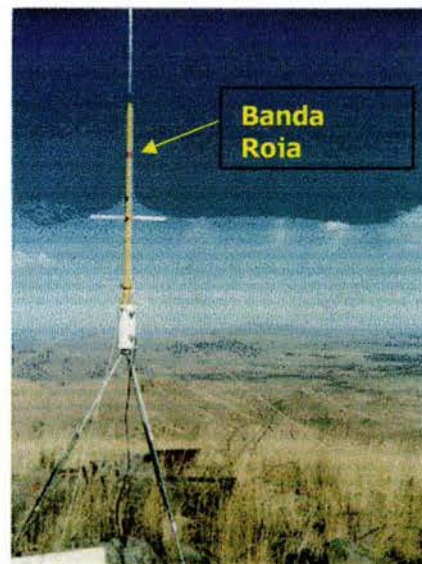


Figura 1.5. Antena Doppler, la banda roja indica la posición del centro de la fase

Fuente: Archivo fotográfico personal, fotografías de mi primera comisión de posicionamiento Doppler, 1990.

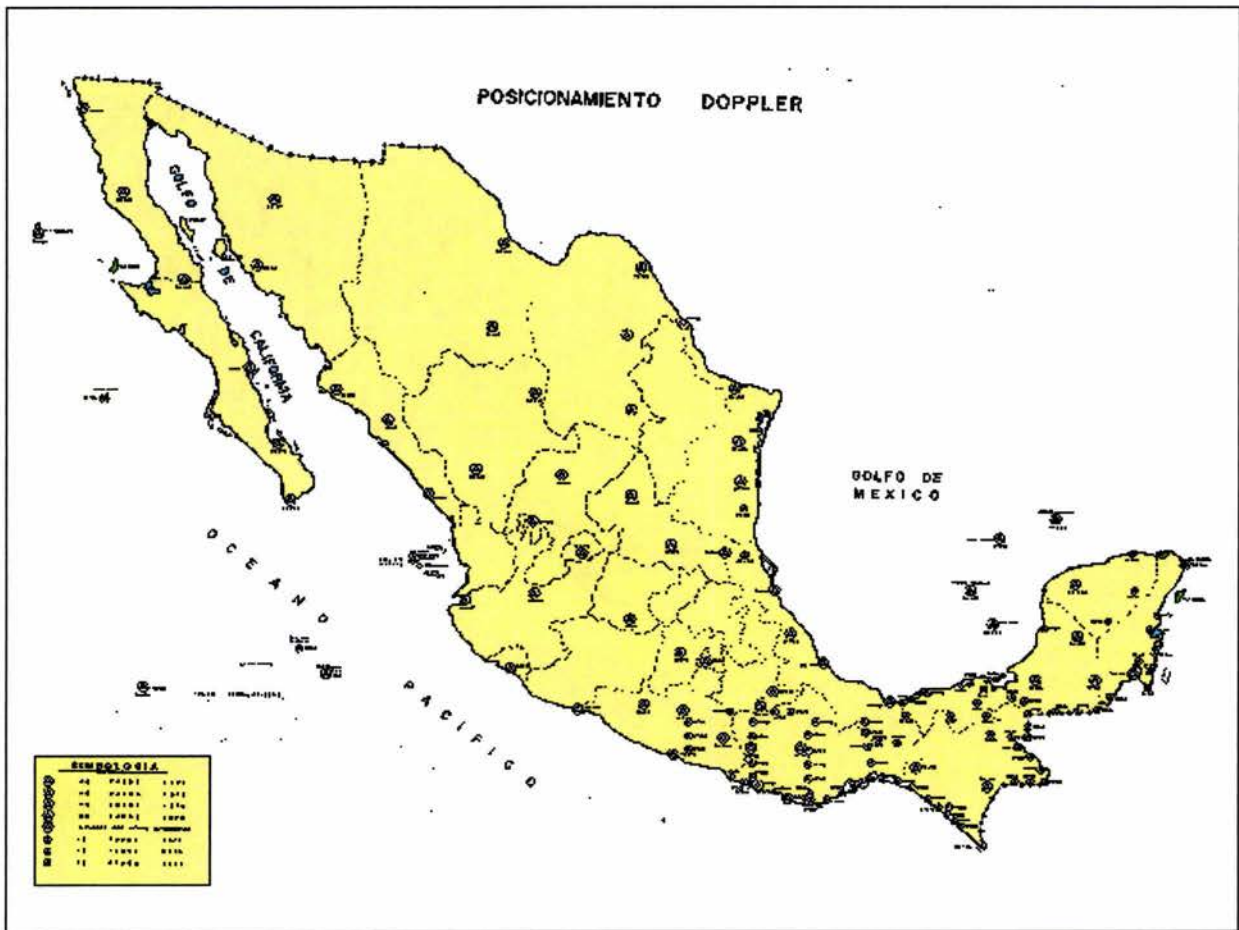
El sistema Doppler se basa en la determinación de la posición de un equipo receptor mediante la recepción de la señal emitida por los satélites los cuales orbitan a 2000 Km. de altura desde que aparece en el horizonte, a su paso por el cenit del lugar y hasta que se pierde nuevamente en el horizonte; la recepción continua de esta señal detecta variaciones en la longitud de onda recibida (efecto Doppler).

Para establecer una estación de primer orden, se requerían de 40 pasos en tres dimensiones, en promedio las efemérides pronosticaban diez pasos de satélites por día de los cuales no todos se recibían en tres dimensiones por lo que tomaba de 4 a 5 días de estancia en un sitio para establecer una estación Doppler.

Aplicando el posicionamiento Doppler, la entonces Dirección General de Geografía del Territorio Nacional estableciendo en 15 años un total de 356 de Estaciones Doppler de 20 y de 40 pasos (figura 1.6.).

Sin embargo, estas estaciones se establecieron de manera independiente, es decir, no se aplicó el método de posicionamiento relativo, con el cual las estaciones nuevas están referidas a la posición de las estaciones de coordenadas conocidas. Este sistema se utilizó en la Dirección General de Geografía hasta fines del año 1990 (DGG, 2003).

Figura 1.6. Cubrimiento de estaciones Doppler de 20 y 40 pasos en México



Fuente: Banco de datos de la subdirección de Geodesia, 1991.

NOTA: La falta de detalle se debe a la resolución del escaneo del original.

El 6 de enero de 1986 con el lanzamiento del primer satélite de la constelación NAVSTAR (*Navigation Satellite by Timing and Ranging*) inicia oficialmente la operación del Sistema de Posicionamiento Global (*Global Positioning System* o GPS por sus siglas en inglés), el cual constituye una nueva generación de satélites de navegación.

El GPS está conformado por tres segmentos principales: a) Segmento espacial, b) Segmento de Control y c) Segmento Utilitario.

a) Segmento Espacial; está constituido por la Constelación NAVSTAR de 24 satélites los cuales orbitan a 20 000 Km. de altura, distribuidos en seis planos orbitales (figura 1.7.). Cada satélite cuenta con un identificador único y transmite señales sobre dos frecuencias de la Banda L conocidas como L1 y L2. La banda L1 transmite en la frecuencia de 1575.42 Mhz y la Banda L2 en 1227.6 Mhz; codificadas sobre estas señales se envían mensajes conocidos como Código C/A y Código P.

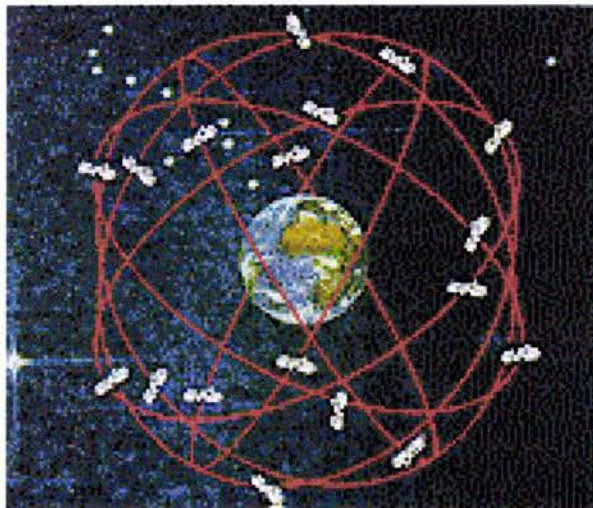


Figura 1.7. Constelación NAVSTAR

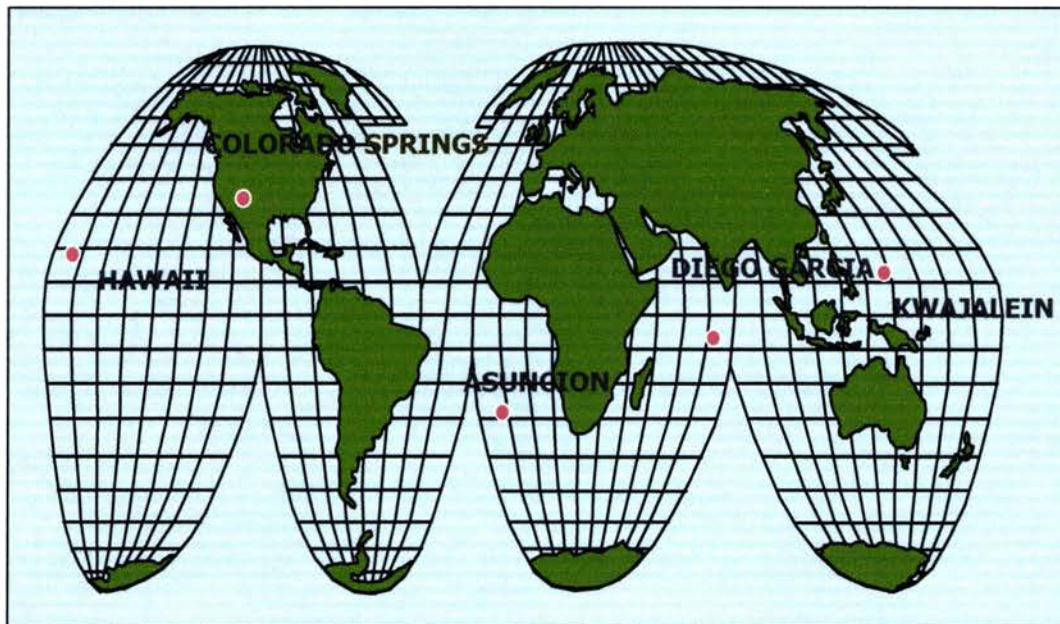
Fuente: Trípticos de presentación del GPS, 1991.

El Sistema de Posicionamiento Global se basa en un conteo extremadamente preciso del tiempo, para ello, los satélites cuentan con relojes atómicos de Cesio (Cs) o de Rubidio (Rb), con los cuales se sincroniza la emisión y recepción de la señal.

b) Segmento de control; lo conforman cinco estaciones de rastreo y control, distribuidas estratégicamente y ubicadas en: Colorado Springs, Kwajalein, Isla Diego García, Isla Ascensión y Hawai (figura 1.8.).

Las estaciones de control observan constantemente a cada satélite de la constelación envían datos al centro de control en Colorado Springs donde se determinan y predicen las efemérides, se corrigen las órbitas y se envían mensajes a los satélites.

Figura 1.8. Distribución de las estaciones del segmento de control a nivel mundial



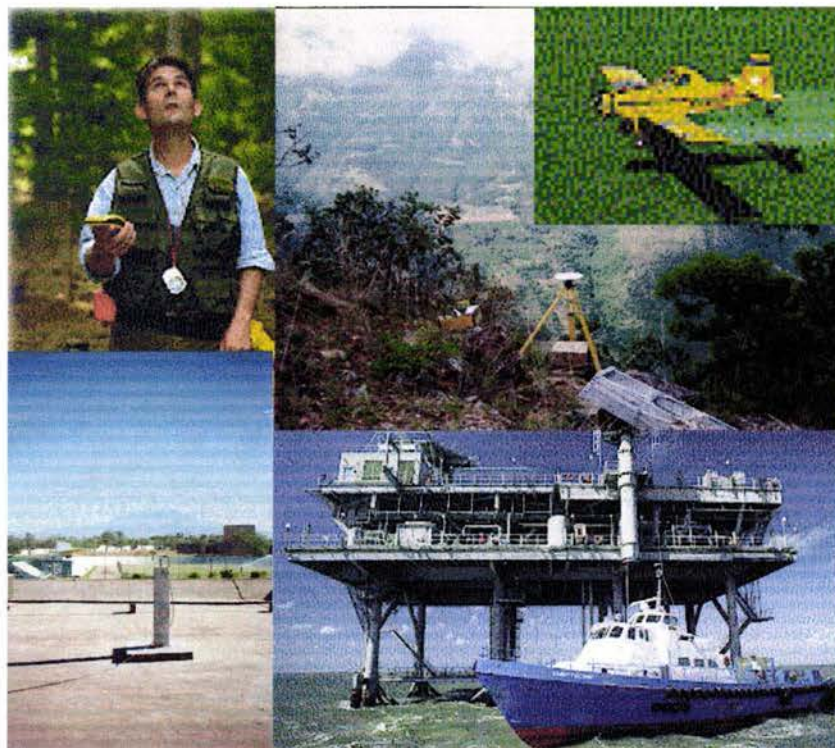
Fuente: Información generada por el autor, 1992.

Adicionalmente existen cinco estaciones suplentes de apoyo para el monitoreo de la constelación, las cuales se localizan en Australia, Quito, Buenos Aires, Bahrein e Inglaterra y reportan su actividad al centro de control de Colorado Springs.

c) Segmento Utilitario; lo constituyen todos los usuarios del sistema; originalmente se diseñó con fines militares para la navegación marítima, aérea y terrestre; posteriormente se integraron aplicaciones de investigación entre las que están la

Geodesia y la deformación de la corteza terrestre y con el tiempo se han integrado numerosas aplicaciones como la exploración, navegación deportiva y el monitoreo y control de vehículos (figura 1.9.).

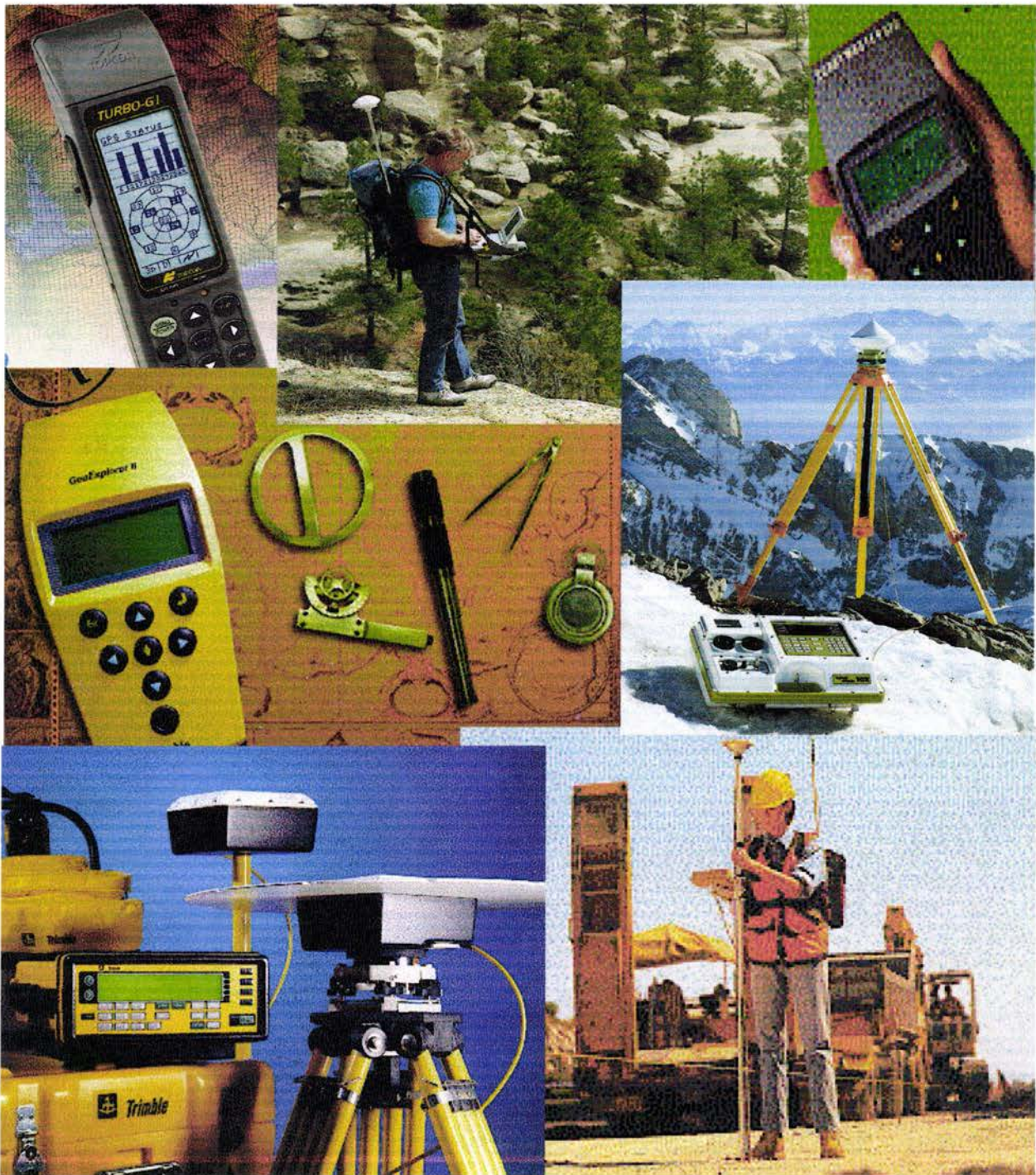
Figura 1.9. Aplicaciones del Sistema de Posicionamiento Global



Fuente: Trimble Navigation y ASHTEHC, información de campo, 1993.

Para ser parte del segmento utilitario, es necesario contar con un equipo receptor GPS, compuesto por el *hardware* (receptor, antena y fuente de energía) y el *software* (programas para el manejo de la información). Existen distintos tipos de equipos, sin embargo, se pueden clasificar en cuatro grupos: a) Navegadores, b) Equipos Cartográficos, c) Equipos topográficos y d) Equipos Geodésicos (figura 1.10.); sus características se resumen en el cuadro 1.1.

Figura 1.10. Diferentes marcas y tipos de equipos GPS (Navegadores, cartográficos, Topográficos y Geodésicos)



Fuente: Trimble Navigation, ASHTECH, Leica Geosystems, Garmin, Magellan y Topcon 1993.

Cuadro 1.1. Descripción de los tipos de equipos GPS y sus características

Tipo	Características
Navegadores	<ul style="list-style-type: none"> • Componentes del equipo integrados. • Equipos básicos, solo funcionan con L1. • Proporcionan posiciones con 20 metros de error. • Indican Rumbo y distancia entre estaciones conocidas No se puede diferenciar la información que generan. • Algunos cuentan con software de descarga de datos.
Equipos Cartográficos	<ul style="list-style-type: none"> • Son posicionadores – navegadores. • Reciben la señal de L1 y en algunos casos la fase de la señal. • Generan archivos para diferenciar • Se obtienen posiciones con precisión de 2 a 5 metros después de diferenciar, algunos permiten llegar al submetro al diferenciar la fase.
Equipos Topográficos	<ul style="list-style-type: none"> • Componentes del equipo por separado. • Reciben la señal y la fase de I1 y I2 y el código C/A. • Generan archivos para su diferenciación. • Se obtiene posiciones con precisión centimétrica después de diferenciar. • Procesos de diferenciación a cortas distancias
Equipos Geodésicos	<ul style="list-style-type: none"> • Equipos de alta precisión. • Componentes del equipo por separado. • Reciben señal y fase de L1 y L2 así como códigos C/A y P. • Se obtiene posiciones con precisiones milimétricas después de diferenciar. • Permiten diferenciar entre estaciones con separación de más de 500 Km.

Fuente: Información tomada de diferentes Manuales, folletos y trípticos, 1991-1992.

A mediados del año de 1990, el INEGI a través de la Dirección General de Geografía comienza a realizar pruebas de posicionamiento con equipo GPS, tecnología novedosa que representaba la disminución considerable en tiempo y costo en el establecimiento y procesamiento de estaciones geodésicas con coordenadas tridimensionales. Estas pruebas se realizaron además con el objetivo de adquirir esta tecnología e implementar sus metodologías para la densificación de la Red Geodésica Nacional; así en 1991 se concreta la compra de 6 equipos GPS geodésicos de Doble Frecuencia Marca *Trimble* modelo *Geodesist 4000SST*, recibiendo junto con ellos una capacitación básica sobre la operación del receptor y el proceso de la información con el *software Trimvec Plus* y *Trimnet*; el equipo contaba con las siguientes características:

- Receptor con pantalla de cuarzo líquido y menú de opciones
- Teclado alfanumérico en el panel frontal
- Antena de tipo geodésico con plano de tierra integrado (la cual garantizaba la eliminación de la recepción de señales de trayectoria múltiple o *multipath*)
- Fuente de energía proporcionada por una batería recargable de 12 volts, garantizando ocho horas de operación continua

Estas características facilitaban la operación del equipo en comparación con el Receptor *Doppler Geociever MX1502*; con ellos se llevó a cabo el levantamiento del primer proyecto GPS en el INEGI en los estados de Coahuila, Chihuahua, Durango y Zacatecas, con el que se iniciaba lo que en ese momento se definió como la Red Nacional GPS.

Dado lo novedoso del sistema, la realización de este proyecto se basó en los “Estándares de Precisión Geodésica y Geométrica y Especificaciones para el Uso de las Técnicas de Posicionamiento Relativo GPS del Comité Federal de Control Geodésico de los Estados Unidos”, debido a que para ese momento las normas nacionales que existían para levantamientos geodésicos, habían quedado rebasadas tecnológicamente por dicho país.

Otro proyecto relevante fue la Subred Geodésica Minera, levantada entre 1991 y 1994, la cual consiste de 1200 estaciones GPS distribuidas por pares en todo el territorio nacional.

Hasta este momento (1991), aún y cuando se aplicaban las técnicas y procedimientos para posicionamiento relativo, las cuales indican que para establecer una estación GPS nueva es necesario observar simultáneamente en una estación con coordenadas conocidas durante un periodo de tiempo preestablecido no menor a dos horas, haciendo reobservación de las estaciones por lo menos una segunda vez, los resultados del posicionamiento resultaban buenos pero las coordenadas estaban referidas a las estaciones que formaban parte de la Red Geodésica Nacional, la cual fue levantada por métodos tradicionales; esto hacía que el control que se empleaba fuera de menor precisión que el GPS, además de obligar a las brigadas a buscar vértices geodésicos de primer orden como punto de liga entre levantamientos. Estos inconvenientes obligaron a reconsiderar la utilidad de la Red Geodésica Nacional Tradicional como referencia de levantamientos realizados con GPS.

Otro problema fue que la Red Geodésica Nacional Tradicional se levanto y densificó refiriendo sus coordenadas al Datum oficial para México, Datum Norteamericano de 1927 (*North American Datum of 1927* o NAD27), el cual es un Sistema de Referencia Geodésico local, con un elipsoide adaptado para América del Norte, mientras que el Sistema de Posicionamiento Global está basado en el Sistema de Geodésico Mundial de 1984 (*World Geodetic System 1984* o WGS84), que como su nombre lo indica, su elipsoide asociado es mundial y además con origen en el centro de la tierra, representando un inconveniente la transformación de coordenadas de NAD27 a WGS84, ya que aún cuando existen parámetros para hacerlo, éstos no son aceptables en todo el país, debido a la deformación de las cadenas de triangulación en la parte sur de México; por esto se consideró conveniente evaluar el cambio del NAD27 por un nuevo Sistema de Referencia Geodésico Geocéntrico para México.

El incremento en el número de equipos GPS para el trabajo del INEGI, debido a la implementación del Programa de Certificación de Derechos Ejidales (PROCEDE) en 1992-1993, así como la adquisición de equipo por parte de otros usuarios externos como PEMEX, CFE y numerosas compañías particulares, fueron los elementos que llevaron al INEGI a ejercer sus atribuciones de Entidad Normativa para modificar y adicionar las Normas para la Realización de Levantamientos Geodésicos, integrando los estándares de precisión para levantamientos GPS, los conceptos de la nueva Red de Referencia de Alta Precisión (Red Geodésica Nacional Activa), así como la adopción de un Sistema Geodésico de Referencia Nacional acorde a las nuevas tecnologías.

El concepto de Redes de Referencia de Alta Precisión (*High Accuracy Reference Networks, HARN*) fue desarrollado por los Estados Unidos; para entenderlo claramente es necesario especificar cómo es y cómo se usa un Sistema Geodésico de Referencia Nacional del cual son parte estas Redes.

Un Sistema Geodésico de Referencia Nacional es un grupo de parámetros que permiten relacionar consistente y satisfactoriamente medidas de posiciones horizontales y de alturas a partir de diferentes levantamientos. En levantamientos convencionales las coordenadas verticales y horizontales se determinan en sistemas de referencia independientes. El sistema de referencia horizontal se compone de un sistema de referencia de coordenadas, un elipsoide de referencia y una red de estaciones de referencia, de la que se conocen con gran exactitud las posiciones relativas de estaciones cercanas; el Sistema de Referencia Vertical se compone de una superficie de referencia equipotencial (el geoide) y una red de bancos de nivel, de los cuales se conoce con gran precisión la altura sobre el geoide, sin embargo, su posición horizontal en el mejor de los casos se determina gráficamente sobre los mapas.

Con la llegada del GPS es posible tener un solo sistema de referencia para posiciones horizontales y verticales; para ello es necesario contar con los componentes de un Sistema Geodésico de Referencia Nacional definido por:

- Un sistema de referencia de coordenadas en lo posible geocéntrico.
- Un elipsoide de referencia

- Un grupo de estaciones monumentadas cuyas posiciones tridimensionales relativas a puntos cercanos y al sistema de coordenadas seleccionado, son conocidas con gran exactitud
- Un grupo de posiciones receptoras de GPS como función del tiempo
- Un geoide de referencia cuyas alturas relativas al elipsoide de referencia son conocidas con exactitud.

Una vez explicado lo que es un Sistema Geodésico de Referencia Nacional, se puede describir lo que es una Red de Referencia de Alta Precisión (*High Accuracy Reference Network, HARN*); es un grupo de estaciones regularmente espaciadas de 25 a 500 km, de las cuales sus posiciones horizontales relativas entre sí y relativas al sistema de referencia, son conocidas con una gran exactitud.

La precisión horizontal para las estaciones de HARN, está dada como 8mm +1:1,000,000 o lo que es lo mismo que el orden B según el Comité Federal de Control Geodésico (*Strange and Love, 1991*); dicho de otra forma, las posiciones horizontales diferenciales de estaciones establecidas a 200 Km. de distancia, serán precisas al nivel de 1 a 3 centímetros, mientras que la precisión horizontal absoluta relativa al sistema de coordenadas (NAD83 para Estados Unidos), estará entre los 10 cm. a 15 cm.; para las posiciones verticales, se puede esperar una precisión diferencial de 3 a 7 cm. localmente y no mayor a 20 cm., relativa al sistema de coordenadas de referencia esto da una idea de la gran exactitud que se puede alcanzar.

Para establecer estatalmente estas redes en estados Unidos, se establecen ligas a estaciones fiduciales de orden de precisión AA ($1\text{mm} + 1:100\ 000\ 000$) o de orden A ($5\text{mm} + 1:10\ 000\ 000$) y según su aplicación local, regional o nacional, el espaciamiento de sus estaciones puede variar de 25 a más de 500 Km.

La utilidad de las estaciones de las redes de referencia es: 1) relacionar a un sistema común de coordenadas las posiciones derivadas de levantamientos realizados; 2) servir como medio para evaluar la precisión de los levantamientos y para detectar los errores de estos y 3) mejorar los resultados de los levantamientos al mantener fijas las posiciones más precisas de las estaciones de referencia incluidas en el levantamiento durante los ajustes de observaciones.

Es conveniente recalcar que el establecimiento de una red de referencia de alta precisión no implica eliminar la red establecida por medios tradicionales, por el contrario, implica mejorar las coordenadas de estas estaciones integrándolas en el nuevo sistema de referencia.

Una parte importante de las Redes de Referencia de Alta Precisión son las Estaciones de Referencia de Operación Continua, las cuales cuentan con coordenadas geocéntricas determinadas con gran exactitud y en las que se encuentra operando de manera continua (24 horas al día) un receptor GPS, lo que permite observar estaciones nuevas a cualquier hora del día diferenciando la información con respecto a la estación de referencia más cercana.

1.2. Planeación del levantamiento

Para la planeación de un levantamiento es necesario contar con el archivo de almanaque que se genera en el receptor GPS una vez que ha registrado la señal de los satélites por unos minutos; para obtenerlo, es necesario aplicar el programa de descarga de información, el cual genera el archivo con la fecha como nombre y la extensión *.alm* que lo identifica como almanaque. Este archivo contiene las efemérides transmitidas de cada uno de los satélites GPS, es decir, la hora en que los satélites estarán sobre el horizonte en condiciones de ser observados, para ello se deben indicar las coordenadas del lugar de observación y el nombre del lugar para identificar los distintos gráficos que se generan al correr el programa PLAN del *software Trimvec Plus* (*TRIMVEC PLUS Processing Software Manual*).

El programa PLAN genera las siguientes gráficas:

- Numero de satélites visibles en el lugar en un periodo de tiempo determinado. Puede ser de 24 horas o periodo de tiempo menor; por ejemplo, de las 8:00 a las 14:00 horas.
- Gráfica del valor de la Dilución de la Precisión en Posición (PDOP) con relación al tiempo. Al igual que la gráfica anterior se puede seleccionar el periodo de tiempo.
- Grafica de los satélites estarán visibles durante el tiempo seleccionado. En ella aparece el número de satélite GPS y la línea de tiempo en la que aparece en el horizonte hasta que sale nuevamente de este.

- Gráfica de elevación de los Satélites. En ella se indica la trayectoria de elevación que tiene cada satélite durante el tiempo seleccionado.
- Gráfica de la esfera celeste del lugar (*Skyplot*). Se muestra la trayectoria de los satélites en los cuatro cuadrantes de la esfera celeste del lugar de observación. En esta se pueden configurar las obstrucciones existentes en el lugar de observación para saber cómo afectan al levantamiento.

Generar el plan de observación resultaba de suma importancia en 1991 debido a que en ese momento la constelación NAVSTAR aún no estaba completa, y si se considera que es requisito indispensable observar simultáneamente cuatro satélites como mínimo (figura 1.11.) para obtener posiciones en tres dimensiones, no siempre se tenían las condiciones adecuadas para realizar un levantamiento, siendo mínimos los periodos de tiempo favorables para observar; a estos periodos se les conocía como ventanas de observación.

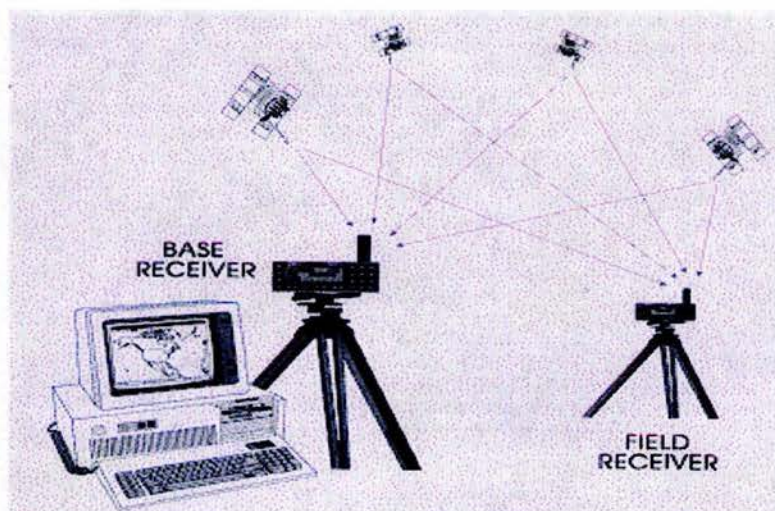


Figura 1.11. La planeación debía garantizar recibir la señal de mínimo 4 satélites simultáneamente en las estaciones de Referencia y de campo

Fuente: *GPS surveyor's field guide*, 1992.

1.3. Ejecución

Una vez realizado el plan de la observación se preparaba el equipo receptor para el levantamiento de la o las estaciones que se establecería; de esta manera se realizaron varias pruebas de levantamiento en el edificio sede del INEGI, en las que se practicaron las distintas modalidades de levantamientos diferenciales, en las cuales un equipo GPS es colocado sobre una estación con coordenadas conocidas y se observa simultáneamente con los equipos que están estableciendo las nuevas estaciones (*TRIMBLE 4000 SST Operation Manual*).

Tipos de Levantamientos con GPS (*Tomado de GPS Surveyor's Field Guide, Trimble Navigation*).

- Estático. Observación en dos o más estaciones permaneciendo fijo durante un tiempo mínimo de 90 minutos con intervalos de registro de observación de 15 segundos.
- Cinemático. En esta modalidad los equipos GPS están en movimiento, sin embargo, debe haber un proceso de inicialización del levantamiento entre la estación base y el equipo en movimiento (equipo rover) la inicialización puede ser de tres formas:
 1. Partiendo de una línea base conocida, es decir, de dos estaciones con coordenadas conocidas que hayan sido observadas y calculadas previamente.

2. Estableciendo una línea base antes de moverse, para ello el equipo móvil (*rover*) comienza a operar en un punto inicial y permanece de 10 a 20 minutos estático para determinar un vector entre éste y la estación base antes de iniciar el movimiento.
 3. Hacer intercambio de antenas (*antenna swap*), para ello se inicia el levantamiento en las estaciones Base y *Rover* las cuales deben tener una separación aproximada de cinco metros, después de registrar información por dos minutos, sin desconectar las antenas de los equipos, se intercambia la posición de estas para observar durante dos minutos, posteriormente se regresan las antenas a su posición original y se observa nuevamente por dos minutos y se está en condiciones de iniciar el movimiento.
- Cinemático continuo. Después de la inicialización, el equipo *rover* comienza a moverse cuidando no perder la señal ya que si se corta la recepción, se debe recomenzar en el punto de inicio establecido. En este tipo de levantamiento se debe configurar el equipo para recibir datos con intervalos de 1 a 5 segundos según la velocidad de movimiento
 - Cinemático *stop and go*. Al igual que en la modalidad anterior, después de la inicialización, el equipo *rover* se mueve sin perder la recepción de la señal hasta el siguiente punto a posicionar para hacer estación por un par de minutos hasta cerrar en el punto de inicio.
 - Pseudo estático. Después de la inicialización, el equipo se mueve al primer punto a posicionar, en este caso no importa si se pierde la señal durante el

traslado, lo importante es mantenerla en cada estación que se haga. El tiempo de observación es de un par de minutos con la restricción que cada estación debe reobservarse después de una hora, esto para tener observaciones con distintas condiciones en el mismo punto.

Además de Programar el receptor, el trabajo de campo establece una serie de pasos a seguir para cumplir con una buena misión:

- Programar en el equipo receptor los nombres de las estaciones y los horarios en los que serán levantadas, el ángulo de recepción de la información, que normalmente es de 15° sobre el horizonte, el intervalo de registro de datos que para levantamientos estáticos es de 15 segundos y para levantamientos cinemáticos varía de 0.5 a 5 segundos.
- Centrar y nivelar el equipo sobre el punto a establecer, es importante que la base nivelante esté calibrada para garantizar el centrado de la antena sobre el punto deseado.
- Montar la antena en la base nivelante y orientarla hacia el norte astronómico.
- Medir y registrar la altura vertical de la antena sobre la marca geodésica, esto se realiza antes, durante y al final del levantamiento.
- Conectar cable antena-receptor y baterías a puertos de energía.

- Una vez iniciada la sesión, llenar formato de registro de estación anotando datos de la estación, lugar y fecha en formato civil y juliano (día consecutivo del año), así como las coordenadas del lugar de acuerdo al valor presentado por el receptor.
- Tomar y registrar los datos meteorológicos de temperatura del bulbo seco y húmedo, humedad relativa, presión barométrica en milibares, condiciones de visibilidad, nubosidad y velocidad del viento; estos datos se toman tres veces, una al inicio de la sesión, otra a media sesión y la tercera al finalizar el levantamiento.
- Registrar el número de cada satélite presente en la observación así como la entrada de nuevos y la salida de otros; se debe anotar cualquier anomalía observada con los satélites, es decir, si entran y salen constantemente, si se pierde continuamente la señal, si no se recibe señal, entre otros.
- Hacer croquis de la posición del tripié y antena sobre el punto indicando la forma en que se midió la altura de la misma.
- Llenar el reporte de observaciones en caso de que alguna eventualidad del levantamiento represente problemas para el proceso de la información.

Al seguir cuidadosamente estos pasos se minimizan los errores atribuibles al operador del equipo y permiten detectar incidentes ocurridos durante el levantamiento los cuales pueden representar problemas durante el proceso de la información.

1.4. Proceso de la información

La información obtenida en esas pruebas fue descargada de los receptores y almacenada en subdirectorios comunes, para cada receptor el software de descarga genera cuatro archivos cada uno con información particular como se muestra en el cuadro 1.2.

Cuadro 1.2. Archivos generados por observación GPS de receptores Trimble 4000 SST	
ARCHIVO	INFORMACIÓN CONTENIDA
Loma1131.dat	Archivo de datos de la observación GPS
Loma1131.eph	Archivo de Efemérides, contiene la información de las posiciones de los satélites.
Loma1131.ion	Archivo de ionosfera, contiene información del paso de la señal por la ionosfera.
Loma1131.mes	Archivo de mensaje, contiene los datos de identificación de la estación y datos informativos del levantamiento.

Fuente: Manual de Operación Trimble 4000 SST, 1989.

La estructura del nombre de los archivos es la siguiente:

Los primeros 4 dígitos corresponden al nombre de la estación: Loma

Los tres dígitos siguientes son el día juliano o día consecutivo del año: 113

El último dígito es el número de sesión de observación en el día: 1

La extensión indica el tipo de archivo, (invariablemente el equipo Trimble 4000SST genera los cuatro archivos para cada estación): .dat .eph .ion .mes

El proceso manual de la información GPS con el software *Trimvec Plus* consiste en los siguientes subprocesos (*TRIMVEC PLUS Processing Software Manual*):

- Descarga de información de las estaciones medidas
- Proceso de datos GPS:
 - Proceso de Pseudo rango para cada estación, para obtener o mejorar la posición de la estación.
 - Creación de la Red
 - Proceso de triple diferencia (de acuerdo con los manuales es el mejor resultado para líneas base largas), solución *.trp
 - Corrección de los Saltos de Ciclo en cada estación y posteriormente comparando todas las estaciones con la estación de referencia.
 - Proceso de doble diferencia flotante (de acuerdo con los manuales es el mejor resultado para líneas base medias), solución *.flt
 - Proceso de fijación de los enteros (resolución de las ambigüedades)
 - Proceso de doble diferencia fija, solución *.opt o *.fix
- Ajuste de la Red GPS por mínimos cuadrados (Software Trimnet y Geolab V 5.0)
 - Ajuste libre o mínimamente restringido
 - Depuración de observaciones fuera de tolerancia
 - Fijación del Control
 - Ajuste restringido
 - Obtención de estadísticas

Es conveniente aclarar que, independientemente de la marca de equipo GPS y del software del que se disponga, el proceso de diferenciación de las observaciones y de ajuste de la red realiza los pasos mencionados ya sea manual o automáticamente.

Los primeros procesos de datos completos correspondientes a las pruebas se consiguieron después de correr varias veces los programas con la información GPS.

1.5. Primer proyecto de levantamiento GPS

Con el personal capacitado para realizar el levantamiento y procesar la información, se presentó a la Subdirección de Geodesia el anteproyecto de levantamiento, con el cual el INEGI daría inicio a la Red Nacional GPS, siendo aprobado para su realización en junio de 1991.

El proyecto planteaba el establecimiento de una red de estaciones GPS apeándose para su levantamiento en el documento *“Geometric Geodetic Accuracy Standards and Specifications for Using GPS Relative Positioning Techniques”*, generado por el Comité Federal de Control Geodésico de los Estados Unidos, ya que en ese momento era el único documento disponible en el que se normaba este tipo de levantamientos.

Así mismo, definía una cadena de estaciones que iniciaba en la frontera entre México y Estados Unidos en el estado de Coahuila llegando hasta el norte de Aguascalientes. Las distancias entre estaciones proyectadas estaban entre los 80 y los 120 Km., e integraba el levantamiento de cinco estaciones separadas por mas de 400 Km. con el

objeto de comprobar la capacidad del GPS para obtener resultados de calidad en distancias tan largas; esto constituía un verdadero reto y al mismo tiempo demostraba el interés de investigar el comportamiento de la información GPS, sobre todo si se considera que en 1991 los manuales y bibliografía clasificaban los levantamientos diferenciales por la distancia entre las estaciones en: líneas base cortas, medias y largas (cuadro 1.3.). Las líneas base largas se consideraban hasta los 50 kilómetros (a las líneas base también se les denomina vectores, éste término es usado principalmente durante el procesamiento de la información).

Cuadro 1.3. Clasificación de las líneas base o vectores en GPS	
Líneas base	Distancia entre estaciones
Cortas	Desde unos metros hasta 15 Km.
Medias	De 15 a 30 Km.
Largas	De 30 a 50 Km.

Fuente: Manual de proceso GPS Trimvec Plus, 1989.

El proyecto se realizó y se procesó conforme a los procedimientos establecidos, sin embargo, durante algunos procesos se detectaron problemas en la corrección de saltos de ciclo, y en los parámetros de las iteraciones.

1.6. Cursos de proceso avanzado GPS

La aplicación de procesos manuales en la Subdirección de Geodesia obligó a complementar la capacitación inicial leyendo a detalle los manuales de proceso lo que implicó trabajo de traducción ya que en ese momento los manuales sólo estaban editados en inglés; sin embargo, aún cuando ya se habían realizado procesos manuales completos, es decir, hasta llegar a las posiciones ajustadas, quedaban algunas dudas sobre la aplicación y efecto de algunos parámetros en los procesos de corrección de saltos de ciclo, triple diferencia y fijación de los ciclos enteros, mismas que no se solucionaban con el manual.

Con la finalidad de resolver las dudas del proceso, la Dirección General de Geografía me comisionó para asistir como único representante del INEGI al curso “*Advanced Processing Topics*” impartido por personal de las oficinas centrales de la compañía *Trimble Navigation* en la ciudad de *SunnyVale*, California en agosto de 1991 (figura 1.12.). Este curso tuvo participación de personal de compañías y dependencias de Estados Unidos, Sudáfrica, Alemania y México, entre otros; en el desarrollo de la capacitación se procesó parte de la información generada en el proyecto de la Red Nacional GPS de México, lo que generó interés en el instructor y en los participantes debido a las distancias entre los vectores resultantes en el proceso.



Figura 1.12. Instalaciones de la compañía TRIMBLE Navigation durante el curso "Advanced Processing Topics"

Fuente: Archivo fotográfico del autor, 1991.

En el mismo mes de agosto de 1991, y derivado de la relación existente entre la Dirección General de Geografía con instituciones similares de otros países, el Dr. Tomás Soler, Jefe de la Sección de Análisis y Diseño del *National Geodetic Survey* (NGS) de Estados Unidos, impartió el curso intitulado "Proceso de datos GPS con el *software* especializado OMNI", mismo que utiliza el NGS para el proceso de sus estaciones de alta precisión.

Para la aplicación de este *software* y de algunas de sus rutinas, fue necesario aprender el funcionamiento del sistema operativo UNIX, para conocer la estructura general de la información y jerarquía de los archivos, la forma de asignar nombre a los

directorios y archivos, los permisos que se asignan a los mismos, así como el uso de programas como el editor VI (*UNIX System V, A General Reference*); esto representó una dificultad adicional debido a que los programas de proceso como el *Trimvec Plus* funcionan bajo el sistema operativo MS-DOS.

Es importante mencionar que los procesos considerados por el programa OMNI coinciden con el proceso manual del *Trimvec Plus*, la diferencia principal radica en que el OMNI maneja parámetros más rigurosos; uno de estos es el uso de estaciones fiduciales o de referencia y de efemérides precisas; además realiza procesos a priori como parte del análisis de la información antes de hacer los procesos finales, esto permite revisar los residuales de los vectores y de las estaciones observadas, a partir de las escalas de las gráficas generadas.

Otra particularidad que tiene es que se pueden combinar datos de estaciones levantadas con diferentes marcas de equipos, reformateando los archivos originales para poder ser leídos por el programa.

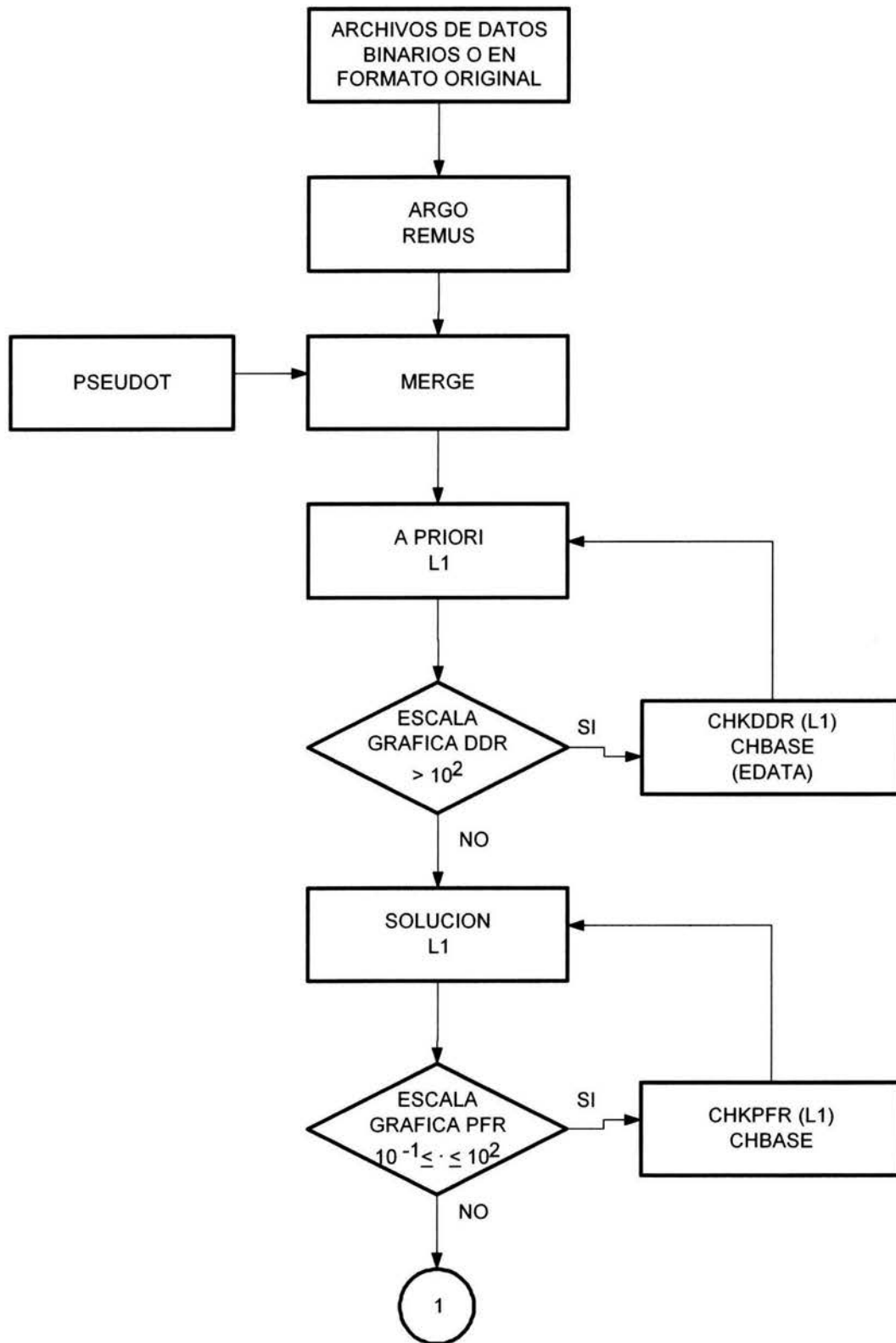
En el cuadro 1.4. se presentan los pasos y el diagrama de flujo que se sigue durante el proceso de datos GPS con el programa OMNI, los archivos de entrada al proceso corresponden a formato *Trimble*.

Cuadro 1.4. Proceso de información GPS con software OMNI

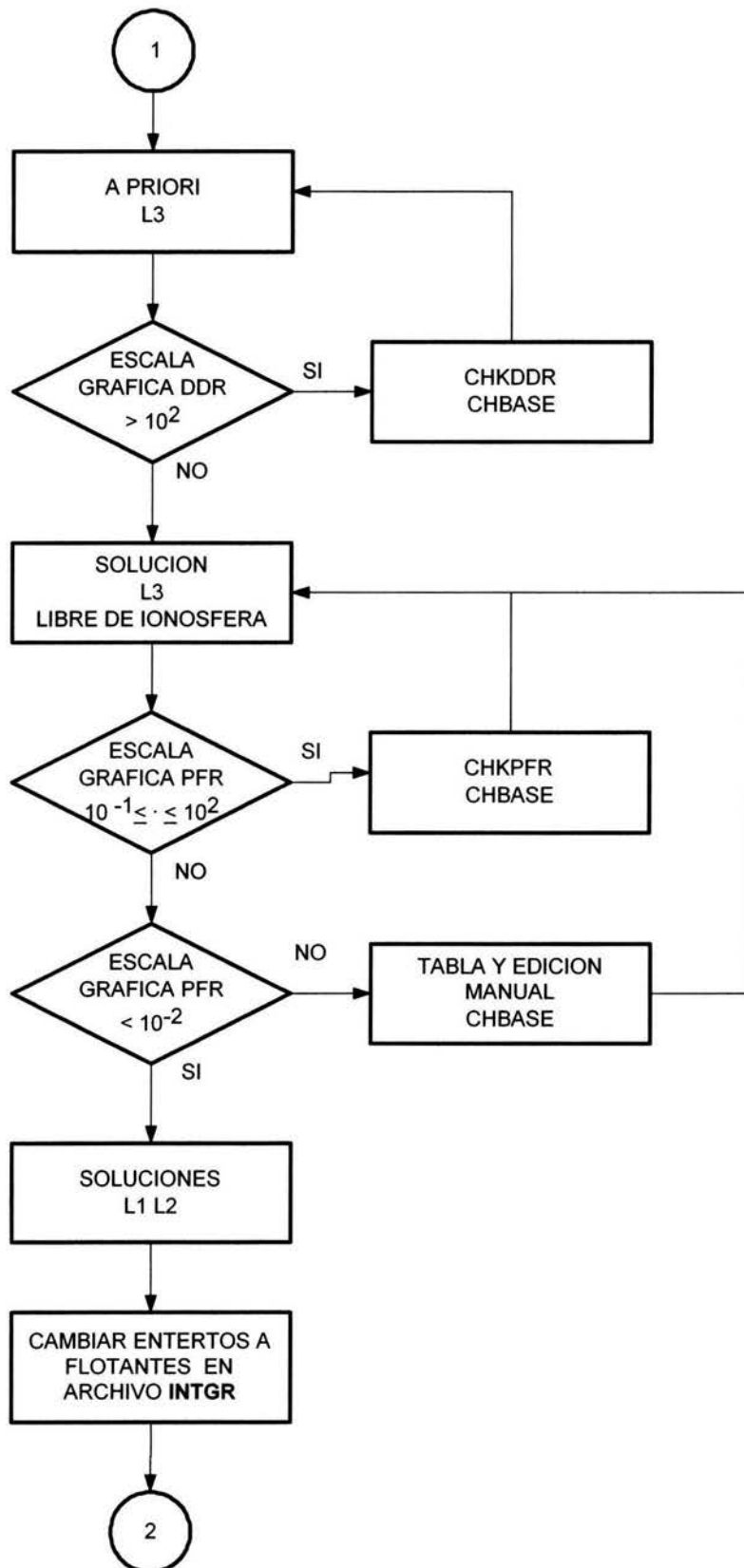
ARCHIVOS DE DATOS	Obtención de los archivos generados en campo en cada una de las estaciones observadas. *.dat *.eph *.ion y *.mes
ARGO-REMUS	Reformateo de los datos GPS del formato original al formato de entrada de OMNI: Se crean los archivos *.mrk *.orb y *.sum
PSEUDOT	Obtención de coordenadas de las estaciones por pseudo rango. Se crea el archivo *.pom
MERGE	Combinación de datos de todas las observaciones para generar una red (proceso de triple diferencia): Se genera el archivo *.trp, archivos de la red creada hd.dat, dt.dat y or.dat
Proceso L1 A Priori	Proceso de Doble Diferencia en L1.
CHKDDR-CHBASE	Programas para detectar saltos de ciclo y visualizar las correcciones en las observaciones.
Solución L1	Proceso de Doble Diferencia en L1.
CHKPFR-CHBASE	Detección y aplicación de las correcciones de saltos de ciclo.
Proceso L3 A Priori	Proceso de Doble Diferencia en L1 y L2
CHKDDR-CHBASE	Programas para detectar saltos de ciclo y visualizar las correcciones en las observaciones.
Solución L3	Proceso de Doble Diferencia en L3 (Combinación de L1 y L2).
CHKPFR-CHBASE	Detección y aplicación de las correcciones de saltos de ciclo.
Soluciones L1 y L2	Procesos de Doble Diferencia en L1 y L2 independientes.
Cambiar enteros a flotantes	Mover los valores de ciclos cerrados a un valor de fracción (flotantes)
L3 Flotante	Generar solución L3 flotante
Fijar Enteros L1, L2 y L3	Llevar el numero de ciclos al entero más cercano para generar la solución fija.
Solución L3 con correlaciones	Obtener el archivo de solución para ser ajustado.

Fuente: National Geodetic Survey, 1993.

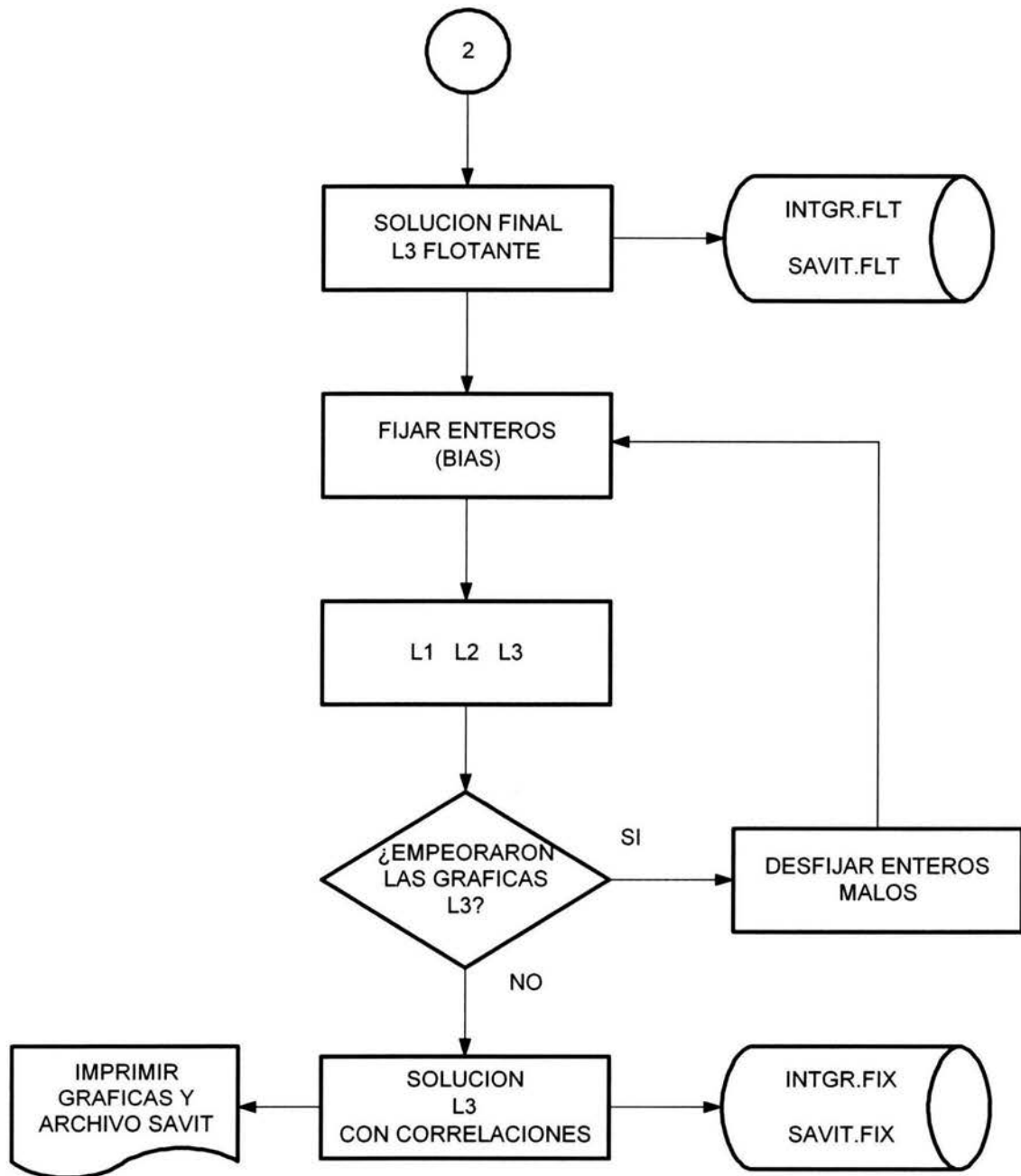
Diagrama de flujo de proceso con OMNI



Continuación



Continuación



Fuente: *Practical Hints to process GPS vectors using OMNI (A flow chart approach)*, NGS, 1993.

La aplicación de este proceso riguroso es necesaria para el establecimiento de redes de alta precisión, durante todo el proceso se van detectando y corrigiendo las desviaciones antes de continuar con el siguiente paso.

Para mayor información sobre datos de estaciones fiduciales, efemérides precisas y software de proceso y servicios del *National Geodetic Survey*, consultar la página WEB <http://www.ngs.noaa.gov/>

La capacitación recibida originalmente con la adquisición del equipo GPS no fue tan completa como se esperaba, por lo que se tuvo que consultar a detalle los manuales del equipo como del software, lo que dio como resultado la definición de procedimientos de campo que se establecieron en la Subdirección de Geodesia, así como el diagrama de flujo de proceso de información con el software *Trimvec Plus*, que se elaboró y que sirvió como base para las capacitaciones que se realizaron con el resto del personal. La participación que se tuvo desde el inicio de actividades con el equipo GPS así como la capacitación internacional recibida (curso de proceso avanzado GPS y proceso de datos con OMNI), fueron factores importantes para asumir la función de jefe de brigada en el desarrollo de varios proyectos en la Dirección General de Geografía.

Capítulo 2. Proyecto Arizona-México HARN 1992

En este capítulo se presentan las condiciones y circunstancias que permitieron a la Dirección General de Geografía realizar los levantamientos de las primeras estaciones de referencia de alta precisión en México; así mismo, se describen las especificaciones establecidas para desarrollar este tipo de levantamientos GPS y finalmente se presenta la forma en que se participó en las distintas etapas de estos proyectos: planeación, trabajo de campo y procesamiento de la información.

Desde su creación el 2 de octubre de 1968, la Dirección General de Geografía (DGG) ha mantenido estrechas relaciones con otras instituciones similares en otros países, de estas se han derivado intercambios de información y apoyos tecnológicos mutuos con el objeto de homogeneizar los productos que se generan. Una de las instituciones más cercanas a la DGG, es el *National Geodetic Survey (NGS)*, de quien se esperaba apoyo para el establecimiento de estaciones de alta precisión en México; sin embargo, a diferencia de proyectos anteriores, el NGS sugirió que en los trabajos que se realizaran, México tuviera mayor participación en la obtención de resultados, lo cual redujo la actividad del NGS a asesoría y apoyo; precisamente con ese objetivo se dió la capacitación del proceso con OMNI mencionada anteriormente.

El 24 de enero de 1992 se recibió la propuesta del NGS de participar en el levantamiento conjunto del Proyecto Arizona-México HARN 1992, para el establecimiento de una Red de Referencia de Alta Precisión (HARN) de orden A,

realizando observaciones durante los primeros días de febrero. En el proyecto participarían el Departamento de Carreteras y Transportación pública de Texas (TSHPT), el Departamento Estatal de Carreteras y Transportación de Nuevo México (NMSHTD), el Ejército de los Estados Unidos de Norteamérica (proporcionando el control para el proyecto mediante sus instalaciones en el Campo de Prueba de Yuma) (YPG) y el INEGI por medio de la DGG (*Arizona HARN, 1992*).

2.1. Planeación

El objetivo del proyecto era establecer en Arizona una red de orden B que garantizara una precisión relativa entre las estaciones del proyecto de por lo menos 8 mm. + 1:1,000,000 al 95 % de confianza para cada vector medido, ligándola por lo menos a siete estaciones de orden A (5 mm. + 1:10,000,000) y a tres estaciones CIGNET (*Cooperative International GPS Network*).

Las estaciones de orden A que proporcionarían el control fueron: YUMA NCMN, 7894 y FLAGSTAFF NCMN en Arizona, EL PASO y CORPUS CHRISTY RRP así como otras estaciones operacionales de la Red Regional de Puntos de Referencia (RRF), del TSHPT en Texas; la estación 393 en Colorado, la estación VLBI PIE TOWN y BASE 1 NEW MÉXICO, en Nuevo México; las estaciones CIGNET fueron la estación *geoceiver* 20208, A 365 y KITT ROAD.

Para lograr el objetivo se debía garantizar la observación de por lo menos tres días para seleccionar los mejores períodos de tiempo para el proceso; para el caso de

México, el objetivo era establecer estaciones de orden A por lo que se debían de garantizar cuatro días de datos continuos además de cumplir con los requisitos de estabilidad de las estaciones seleccionadas (*Arizona-México HARN, 1992*).

Se estableció para el inicio de operaciones el 3 de febrero de 1992 (Día Juliano 034) a las 09:42 tiempo UTC, para concluir el 7 del mismo mes (Día Juliano 038) a las 14:56 UTC, esto cubría el requerimiento de datos para el proceso de orden A (cuadro 2.1.).

Cuadro 2.1. Programa de observaciones GPS ARIZONA-MÉXICO, HARN 1992					
Día juliano y hora de inicio		Día juliano y hora de término		Duración	
JD 034	09:42 UTC	JD 034	15:12 UTC	5.5	HORAS
JD 035	09:38 UTC	JD 035	15:08 UTC	5.5	HORAS
JD 036	09:34 UTC	JD 036	15:04 UTC	5.5	HORAS
JD 037	09:30 UTC	JD 037	15:00 UTC	5.5	HORAS
JD 038	09:26 UTC	JD 038	14:56 UTC	5.5	HORAS

Fuente: Heavy-Underlined information applies to A-order Network Observations, proyecto Arizona-México HARN, 1992.

Para México, el proyecto contemplaba el levantamiento de seis estaciones distribuidas convenientemente para aprovechar mejor el control proporcionado por las estaciones de referencia, se seleccionaron los vértices geodésicos: Díaz en Chihuahua, Cuata en Nuevo León, Tepalcates en Durango, Puertecito en Aguascalientes, Río Verde en San Luis Potosí y Xico en el Estado de México, su ubicación se presenta en la figura 2.1.

Figura 2.1. Esquema de distribución de las estaciones del Proyecto Arizona-México HARN 1992



Fuente: Información generada por el autor, 1992.

2.2. Levantamiento de las Estaciones

Debido al dominio adquirido del programa de proceso OMNI, se participó dentro de este proyecto coordinando los trabajos de campo así como llevando a cabo las observaciones en el Vértice Geodésico Díaz, localizado en Camargo, Chihuahua.

Los procedimientos de campo marcados para el proyecto definían la adquisición de datos con intervalo de 15 segundos, las sesiones debían ser simultaneas y continuas durante un lapso de tiempo de 5.5 horas iniciando en los horarios planeados, optimizando con esto el mayor número de satélites visibles en ese momento. Es

conveniente aclarar que los horarios seleccionados están referidos al Tiempo Universal Coordinado (UTC), el cual para fines prácticos se puede considerar equivalente al Tiempo en el Meridiano de Greenwich (GMT), con éste se tiene una diferencia de seis horas, por lo que las observaciones iniciaron a las 03:42 horas tiempo local en México. En 1992 era común realizar levantamientos por la noche o en la madrugada (figura 2.2.), debido a que la Constelación NAVSTAR aún no estaba completa, esto dejaba períodos muy restringidos para realizar observaciones GPS.



Figura 2.2. *Instalación del equipo en la estación DIAZ, la observación inició a las 03:42 hrs. tiempo de México*

Fuente: Archivo fotográfico del autor, 1992

Tal como se establecía en el plan del levantamiento, durante el trabajo de campo se tomaron y registraron datos meteorológicos tres veces durante la sesión, así como antes y después del paso obvio de un frente climático durante la sesión; las medidas de

temperatura y humedad debían hacerse a la altura del centro de fase de la antena, esto con la finalidad de aplicar las correcciones meteorológicas durante el procesamiento de las observaciones (figura 2.3.).

Figura 2.3. Registro de observaciones en la estación DIAZ el 3 de febrero de 1992



Fuente: Archivo fotográfico del autor, 1992.

De los seis vértices planeados, fue necesario seleccionar de último momento dos nuevos por que las marcas geodésicas de los vértices Cuata y Puertecito habían sido dañadas y no cubrían el requerimiento de permanencia para ser observados, quedando

Díaz, Tepalcates, Río Verde y Xico e integrando, Loma en Nuevo León y en Aguascalientes el vértice INEGI ubicado en la sede del Instituto (figura 2.4.).

Figura 2.4. Esquema de estaciones observadas en el Proyecto Arizona-México HARN 1992



Fuente: Información generada por el autor, 1992-1993.

Durante las sesiones de observación se presentaron condiciones meteorológicas difíciles (lluvias torrenciales y granizadas) debido a la entrada de un frente frío, sin embargo, se desarrollaron sin mayores problemas en las estaciones Díaz, Loma, Río Verde, INEGI y Xico. La estación Tepalcates fue la que presentó problemas durante el levantamiento, debido a una fuerte nevada la cual afectó la recepción de la señal GPS,

pero aún con este incidente, se cubrió el tiempo de observación determinado hasta concluir el proyecto.

2.3. Preparación de Archivos G y *BlueBook* de las estaciones observadas

Para el cálculo de los vectores, se establecían los procedimientos definidos por el proceso con el software OMNI, sin embargo, debido a que el proyecto originalmente debía cumplir los objetivos para Arizona, y a que para el procesamiento de las observaciones se requería la utilización de efemérides precisas, este fue realizado por personal del NGS, quedando el INEGI con la responsabilidad de preparar los archivos adecuadamente para el proceso.

En la realización de estas actividades se estuvo a cargo de la preparación de la información, generando los archivos *BlueBook* de cada estación y para cada una de las sesiones realizadas en estas, aplicando la utilidad CR&BB del software OMNI para crear estos archivos.

El archivo *BlueBook* contiene información detallada de cada estación, relacionada con el proyecto en el que se estableció (Spofford Paul, 1990). A continuación se detalla la información solicitada:

- Características del proyecto
 - Nombre del nuevo *BlueBook*
 - Abreviación de la agencia que lo genera

- Fecha de creación (AAAAMMDD)
- Título del proyecto
- Código del país o estado
- Orden y clase del levantamiento
- Fecha de inicio de operaciones en campo (AAAAMM)
- Numero de instrumentos utilizados en el proyecto
- Información de los equipos utilizados; por equipo se llena la siguiente información
 - Equipo número 1 del proyecto
 - Código del equipo según anexo F del BB
 - Numero de serie del instrumento
 - Fabricante del instrumento
 - Tipo del instrumento
 - Modelo o clase del instrumento
- Información sobre la estación que permanecerá fija
- Se continúa seleccionando del menú la opción 2
 - Fijar una estación
 - Agregar una nueva ocupación de estación
 - Agregar un nuevo instrumento
 - Agregar secuencia de números
 - Sortear registros
- En esta opción se agregan las sesiones con la siguiente información:
 - Identificador de la estación

- Numero de serie de la estación
- Nombre completo de la estación
- Día del año, año y sesión (DDDAS)
- Altura de antena
- Formato de coordenadas DDD MM SS.sssss o DDD.dddddddd
- Valores de Latitud y Longitud
- Códigos de la latitud (N/S) y de Longitud (E/W)
- Elevación de la estación HHHH.hh
- Tipo de elevación (barométrica, ángulos verticales, derivada de la altura elipsoidal, elevación conocida de banco de nivel)
- Iniciales del observador
- Numero del instrumento en el proyecto
- Longitud del cable receptor antena
- Comentarios sobre la ocupación de la estación
- Año de la observación
- Tiempo UTC de inicio y fin de la sesión (HHMM-HHMM)
- Datos meteorológicos registrados al inicio y fin de la sesión
 - Temperatura seca en °C o °F
 - Temperatura húmeda en °C o °F
 - Humedad Relativa
 - Presión Barométrica (MM, MB, IN)
 - Código Climatológico de 5 dígitos

La creación del archivo *BlueBook* es un elemento importante para llevar el control de los Proyectos realizados por una institución así como para llevar el control de los

números de estación y evitar la repetición de claves; otra utilidad de este archivo es la de conocer el comportamiento y la historia de la actividad de los equipos de los que se dispone para realizar los levantamientos. Los archivos fueron preparados durante una reunión de las brigadas del INEGI participantes en el proyecto en Durango (figura 2.5.), esto debido a que se continuarían realizando observaciones pero ahora como parte del proyecto GPS sobre bancos de Nivel.

En esa reunión se detallaron los problemas y situaciones ocurridas durante las sesiones del proyecto; fue aquí donde la brigada que estuvo en Tepalcates informó sobre la fuerte nevada ocurrida durante los días en que se observó, desde este momento se tenía la certeza de que esta estación no serviría para el proyecto, sin embargo se integró en el *BlueBook* con la finalidad de que la gente que realizara el proceso decidiera si se procesaba o se excluía la información.

Figura 2.5. Reunión de brigadas en Durango, Dgo.



Fuente: Archivo fotográfico del autor, 1992.

2.4. Coordenadas de las primeras estaciones de alta precisión en México

El procesamiento de los datos de estas primeras estaciones se llevó a cabo en el NGS bajo los lineamientos del OMNI, se emplearon como estaciones fiduciales o de referencia las mencionadas en el plan del proyecto.

Como se había pronosticado, los datos de la estación Tepalcates presentaban problemas de ruido y distorsión de la señal recibida debido a las condiciones meteorológicas que se presentaron durante el levantamiento, por lo que éstos no cumplieron con las características requeridas para una estación de orden "A", motivo por el que se eliminaron del proyecto.

Con el objeto de completar las seis estaciones proyectadas originalmente y aprovechando que del 16 al 20 de marzo el NGS realizaría una nueva campaña GPS, se integraron las estaciones CINVESTAV (MERI) en Mérida y Jocotitlán (JOCO) en el Estado de México, así como nuevas observaciones de las estaciones INEGI (INEG) y Río Verde (RIOV) en el proyecto Louisiana–Texas–México HARN 1992, quedando así conformada la primera a la Red de Estaciones de Alta Precisión (HARN) en México, integrada por siete estaciones geodésicas con coordenadas de orden "A" (cuadro 2.2.).

Cuadro 2.2. Red Mexicana de estaciones de alta precisión, de orden "A"	
ESTACIÓN	CODIGO DE 4 DIGITOS
CINVESTAV (MERI)	MERI
LOMA GEODESICO	CUAT
DIAZ GEODESICO	DIAZ
INEGI	INEG
JOCOTILÁN GEODESICO	JOCO
RIO VERDE DOPPLER 30983	RIOV
XICO GEODESICO	XICO

Fuente: Información generada por el autor, 1992-1993.

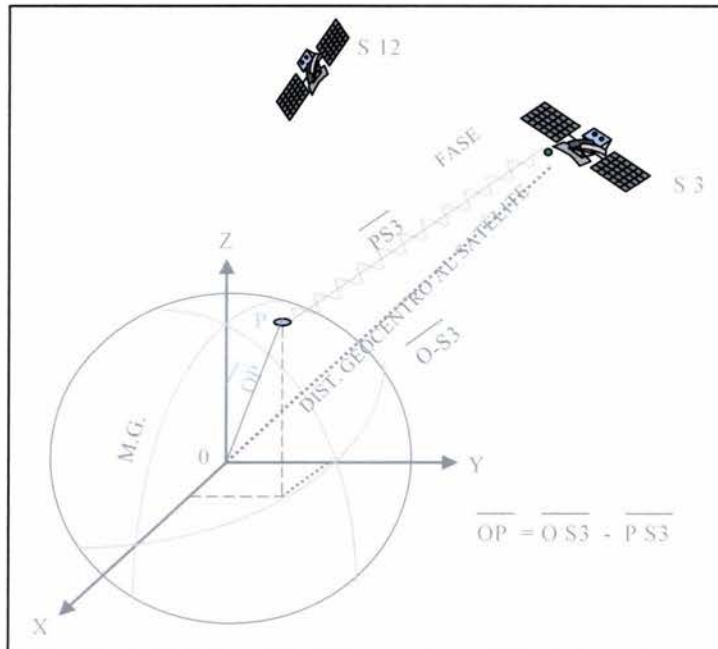
Los valores de las coordenadas se obtuvieron en el sistema de referencia *International Earth Rotation Service, Terrestrial Reference Frame 1989 (ITRF89)* época 1988.0 y elipsoide *Geodetic Reference System 1980 (GRS80)* y posteriormente actualizadas a ITRF91.

Los listados resultantes contienen los valores de latitud, longitud y altura elipsoidal, así como los valores geocéntricos X, Y, Z en metros (cuadro 2.3.). Es importante aclarar, que no se deben confundir las coordenadas geocéntricas X y Y con las coordenadas UTM, Este y Norte, mal llamadas X y Y, ya que se trata de conceptos totalmente distintos; en ese sentido, también es común que se confunda la coordenada geocéntrica "Z" con el valor de altura, lo cual también es incorrecto, para entender mejor el concepto se presenta la figura 2.6.

Cuadro 2.3. Coordenadas geocéntricas de las primeras estaciones de orden "A" referidas al ITRF91.0 época 1988.0 y elipsoide GRS80			
ESTACIÓN	COORDENADA X	COORDENADA Y	COORDENADA Z
CINVESTAV (MERI)	38806.4716	-5956104.6010	2273567.8018
LOMA GEODESICO (LOMA)	-879177.3650	-5675291.6953	2765715.9719
DIAZ GEODESICO (DIAZ)	-1460832.5222	-5473008.6122	2924277.1597
INEGI (INEG)	-1260435.7374	-5788548.4965	2360340.6767
JOCOTILÁN GEODESICO (JOCO)	-1018509.7950	-5922421.8836	2141777.9615
RIO VERDE DOPPLER 30983 (RIOV)	-1015485.1919	-5834121.1045	2363842.1865
XICO GEODESICO (XICO)	-936560.0749	-5952170.8778	2091794.6503

Fuente: Banco de datos del área de la red geodésica activa, 1993.

Figura 2.6. Concepto de posicionamiento GPS para obtener coordenadas geocéntricas X,Y,Z



Fuente: Caturia, 1990.

Con la obtención de las coordenadas quedó formalmente establecida la primera red de estaciones de alta precisión en México (figura 2.7.).

Finalmente cabe mencionar que la participación activa en los proyectos HARN de Arizona y Lousiana permitió ganar experiencia en el manejo y proceso de datos con el software OMNI. Por otra parte, el vínculo establecido con el NGS en el aspecto técnico, se mantuvo mediante la comunicación directa sostenida con el Dr. Soler, ya sea telefónicamente o mediante correo electrónico, tanto para la consulta de información relacionada a los levantamientos como para el proceso de datos GPS.

Figura 2.7. Esquema de la Red de estaciones de orden "A" establecidas en México



Fuente: Información generada por el autor, 1992.

Capítulo 3. Establecimiento de la Red Geodésica Nacional Activa de México mediante GPS

En este capítulo se exponen las razones que llevaron al INEGI a cambiar el concepto de la red geodésica así como a adoptar un nuevo sistema geodésico de referencia; se describe el concepto de estaciones de referencia permanente y los levantamientos que se llevaron a cabo para llegar al establecimiento de la nueva Red Geodésica Nacional Activa (RGNA), de igual forma la participación en esos trabajos así como las funciones que desempeñadas al frente del área de la Red Geodésica Activa de la DGG.

3.1. Concepto y Objetivos

En el desarrollo de todos los proyectos GPS realizados en la Dirección General de Geografía fue necesario contar con un control geodésico proporcionado por las estaciones base o de referencia, inicialmente por los vértices Geodésicos de la Red Geodésica Nacional y posteriormente por las estaciones de la Red de Alta Precisión establecida en México o aquellas estaciones ligadas a estas; sin embargo, se seguía dependiendo de los traslados a alguna de estas estaciones para instalar un equipo GPS en ellas y utilizarlas como referencia, lo que implicaba tiempo y recursos.

Durante la realización del “Proyecto Salsa” en 1992, en la ciudad de Aguascalientes, en el que se levantó con GPS y estación total una superficie agrícola para comparar los resultados con sus respectivos valores obtenidos en imagen de satélite; debido a que

se requería avanzar lo más rápido posible, se decidió establecer un equipo GPS en la estación INEG (nombre de cuatro dígitos de la estación INEGI) el cual trabajó sin ser apagado durante el tiempo que duró el levantamiento, surgiendo la idea de establecer estaciones de este tipo en México.

El concepto de estaciones de referencia ya funcionaba en Estados Unidos y Canadá desde principios de los años 90, con la operación de redes de estaciones conocidas como “Estaciones de Referencia de Operación Continua” (*Continuously Operating Reference Stations*, o *CORS* por sus siglas en Inglés).

Este tipo de estaciones debía operar de ser posible las 24 horas del día los 365 días del año, para ello se requería de instalaciones adecuadas para mantener el equipo en operación, así como garantizar el flujo continuo de energía y el tratamiento correcto a los archivos generados por el receptor.

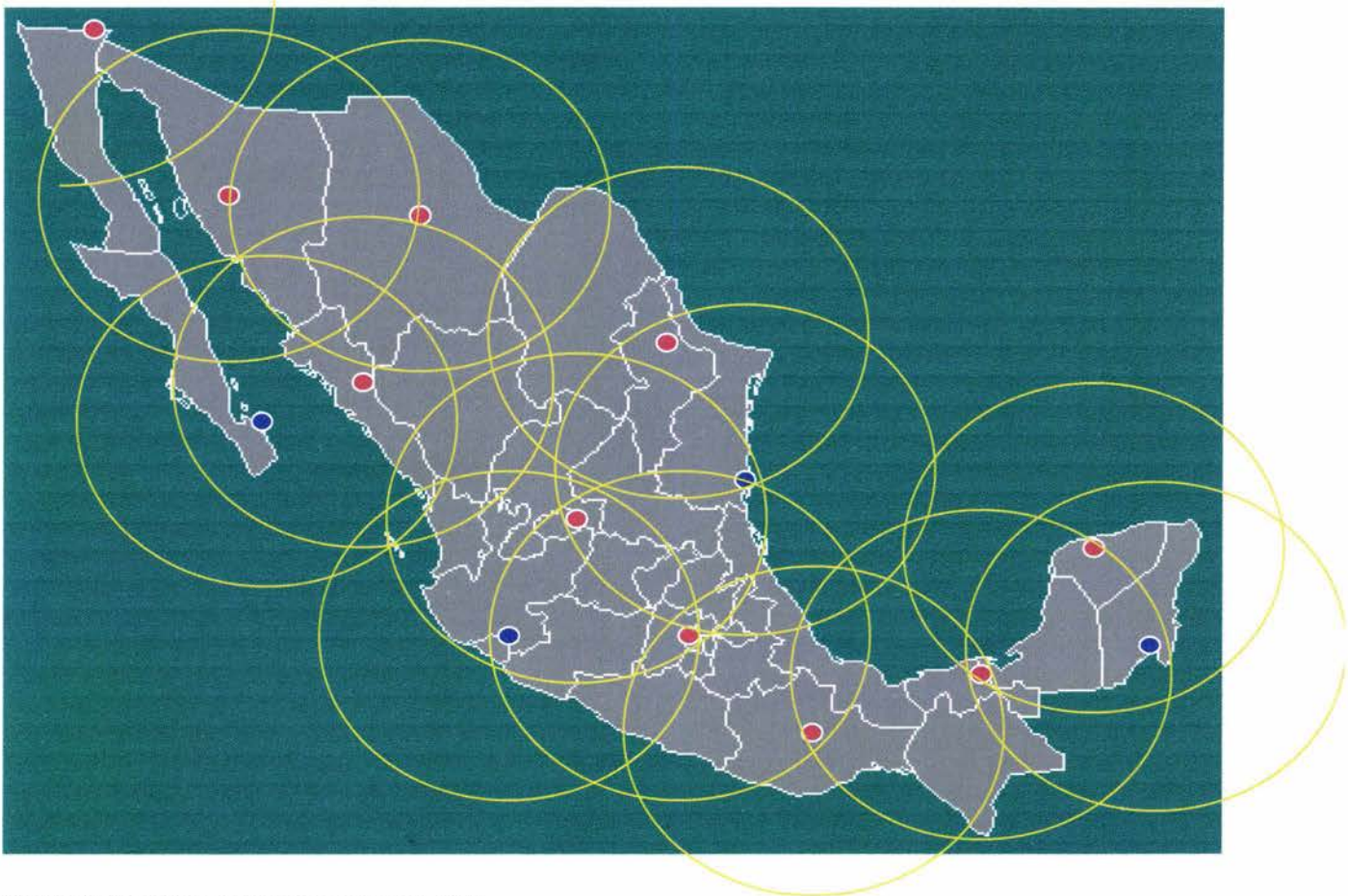
La principal actividad es la de descargar y respaldar diariamente datos y aplicar las utilerías necesarias para seleccionar los periodos de tiempo solicitados por las brigadas de campo para la diferenciación de sus archivos generados en los proyectos de levantamiento.

En 1992 el INEGI inició el programa de certificación de derechos ejidales, en el cual se incorporó una considerable cantidad de equipos GPS de una y de dos frecuencias, para la realización de los trabajos de campo, lo que generó las condiciones adecuadas

para materializar la idea de establecer una red de Estaciones de Referencia de Operación Continua.

Para ello se decidió el establecimiento de diez estaciones (ubicadas estratégicamente en el territorio nacional) que permitieran diferenciar los levantamientos realizados en la parte continental del país por lo menos con dos estaciones de referencia y, en el peor de los casos con una sola (*figura 3.1.*).

Figura 3.1. Concepto de la nueva Red Geodésica Nacional Activa (RGNA)



Fuente: Información elaborada por el autor, 1993.

3.2. Levantamiento del 8 de Enero de 1993

Durante el levantamiento para determinación de parámetros del ITRF en México, llevado a cabo el día 8 de enero de 1993, se realizaron observaciones en 56 vértices Geodésicos de la Red Tradicional NAD27 y al mismo tiempo en los diez puntos seleccionados para las estaciones permanentes y en las siete estaciones de la red de Alta Precisión con equipos de doble frecuencia. Cabe aclarar que la estación INEG estaba considerada como una de las diez que conformarían la Red de Estaciones de Referencia de Operación Continua; estas estaciones contaban con la información necesaria para establecerlas como una red de orden "B" a partir de las siete estaciones ITRF.

La información derivada del proyecto se concentró en la Subdirección de Geodesia, en donde se procesó con el software OMNI; sin embargo, éste no se llevó a cabo como se tenía previsto debido a que el OMNI detectó problemas con los archivos generados por los receptores ASTECH PXII, con los que se realizó el levantamiento.

Al hacer un análisis y revisión de la información, aparentemente no se presentaba nada extraño por lo que se decidió realizar el proceso en el programa GPPS propio del equipo ASTECH, y ajustar los vectores con el Programa GEOLAB; fue hasta correr el proceso de ajuste que se detectó el problema de los archivos; la mayoría de las estaciones ajustaba su posición con varios kilómetros de error, esto llevó a revisar a detalle los archivos de datos, lo que permitió detectar que iniciaban con coordenadas distintas a las del lugar que se observaba; al parecer el equipo guardaba en memoria el

valor de coordenadas del último punto visitado y con este dato iniciaba el levantamiento, para evitar esto se debían introducir las coordenadas aproximadas del punto a visitar, pero esto sólo se hizo en algunos puntos, siendo los menos dentro de todo el proyecto.

Se trató de solucionar el problema corriendo el programa *PSEUDOT* en el *software* OMNI, para generar las coordenadas de pseudo rango, pero el programa abortaba el proceso ya que detectaba que cada época de información procesada era considerada como un error de datos fuera de rango; por lo anterior, se decidió reprocesar los datos con GPPS modificando las coordenadas de inicio de cada estación en el programa y ajustar nuevamente los datos, obteniendo coordenadas de Orden "B" para cada estación, incluidas las diez estaciones de Operación Continua.

A las estaciones de operación continua se les denominó ***Estaciones Fijas*** y tomaron el nombre de la ciudad donde se establecieron, y a la red conformada por estas se le dio el nombre de ***"Red Geodésica Nacional Activa" (RGNA)*** (cuadro 3.1. y figura 3.2.), esto debido a que sobre las marcas geodésicas se establece de manera permanente un equipo que observa continuamente, a diferencia de los vértices geodésicos tradicionales, donde una vez establecidos, para emplearlos como liga hay que trasladarse hasta ellos y colocar el equipo de medición durante el horario establecido.

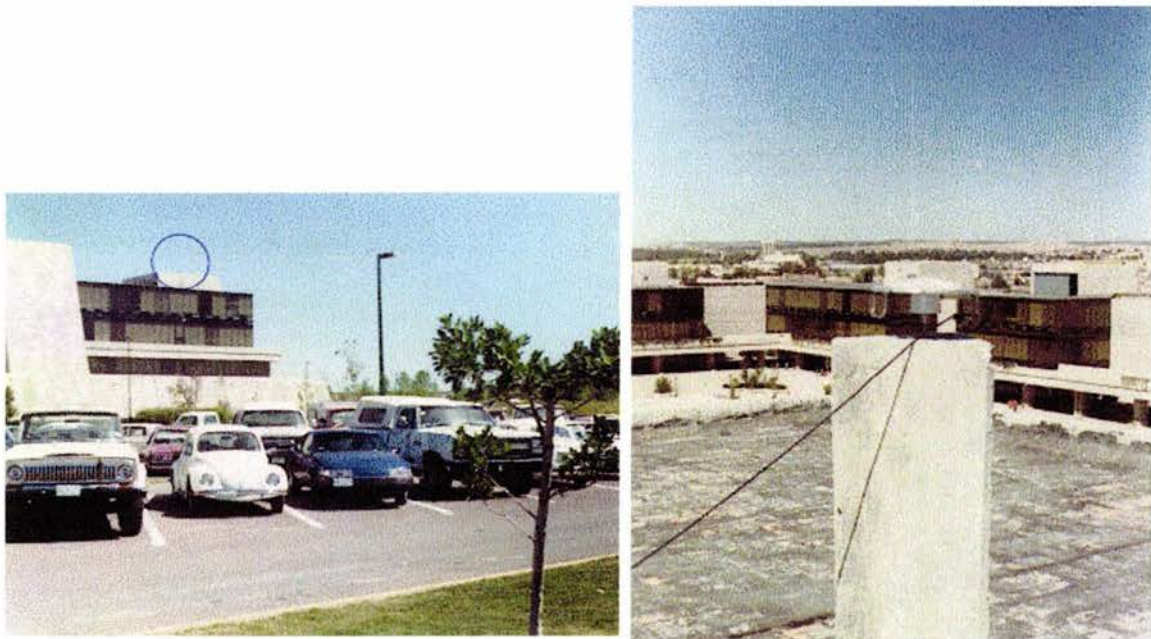
Cuadro 3.1. La Red Geodésica Nacional Activa (RGNA)

Estación	Ubicación	Inicio de operación
INEG*	Aguascalientes, Ags.	02/93
MEXI	Mexicali, Baja California.	02/93
HERM	Hermosillo, Sonora.	02/93
CHIH	Chihuahua, Chihuahua.	02/93
CULI	Culiacán, Sinaloa	02/93
FMTY	Monterrey	02/93
TOLU	Toluca, Edo. de Méx.	02/93
OAXA	Oaxaca, Oaxaca.	02/93
VILL	Villa hermosa, Tabasco.	02/93
MERI**	Mérida, Yucatán	02/93

* La estación INEG es parte de las primeras 7 Estaciones de Alta Precisión.
 ** La estación MERI es nueva, no corresponde a la estación CINVESTAV la cual también se denominó en su momento como MERI.

Fuente: Base de datos del área de la Red Geodésica Activa de la DGG, 1993.

Figura 3.2. Vistas de la Estación Fija INEG, ubicada en el edificio sede del INEGI en Aguascalientes



Fuente: Archivo fotográfico de la Subdirección de Geodesia de la DGG, 1993.

3.3. Complemento de la red

En el mes de marzo de 1993, con las primeras diez estaciones operando, se realizó el levantamiento de las estaciones TAMP, COLI, CHET y LPAZ, con las mismas características de operación continua, lo que complementó el esquema originalmente establecido (cuadro 3.2.).

Nuevamente se estuvo a cargo del proceso de la información en la Subdirección de Geodesia utilizando el software OMNI; para este proceso se aplicó el método de relajación de órbitas, utilizando archivos de efemérides precisas y datos de estaciones fiduciales; esta información se obtuvo directamente del servidor LINUS del *National Geodetic Survey*. La aplicación de esta forma de proceso permitía obtener soluciones más precisas.

El proceso de estas estaciones resultó satisfactorio, pues no se presentaron problemas con la información registrada, se obtuvieron coordenadas de orden "B" para las cuatro estaciones nuevas; sin embargo, con el objeto de unificar el orden todas las estaciones de la RGNA ya que una estación era de orden "A", nueve de orden "B" y las últimas cuatro derivadas de las de orden "B", la información de las catorce estaciones entro en un reajuste integral realizado por el *Nacional Geodetic Survey* durante la campaña MX-PR-US-VI 1993 (México, Puerto Rico, Estados Unidos, Islas Vírgenes 1993), en el que se esperaba obtener una red homogénea de orden "A".

La información correspondiente a los vectores de solución, de las catorce estaciones fijas obtenidos en OMNI por el equipo de trabajo del Área de la Red Geodésica Activa en la Subdirección de Geodesia, fue preparada en los formatos *Blue Book* y Archivos G (*G-File*) para ser reajustada por el NGS.

Cuadro 3.2. Estaciones integradas posteriormente a la RGNA

ESTACIÓN	UBICACIÓN	INICIO DE OPERACION
LPAZ	La Paz, Baja California Sur.	05/93
TAMP	Tampico, Tamaulipas.	04/93
COLI	Colima, Colima.	04/93
CHET	Chetumal, Quintana Roo.	04/93

Fuente: Base de datos del área de la Red Geodésica Activa de la DGG, 1993.

De esta forma se estableció la Red Geodésica Nacional Activa compuesta de 14 Estaciones Fijas con coordenadas geocéntricas de orden "A", referidas al sistema ITRF92 época 1988.0 y al elipsoide GRS80 (figura 3.3.). Todas las estaciones de la Red Geodésica Nacional Activa se equiparon de la siguiente manera:

- Receptor GPS geodésico de doble frecuencia con antena L1/L2 con plano de tierra integrado.
- Computadora personal 486 con impresora.
- Unidad de respaldo en cinta de 4mm.
- MODEM de 9600 bps y línea telefónica.
- Corriente alterna regulada y baterías propias del equipo.
- Unidad de No paro, para respaldo de energía por 2 horas.

Así mismo se les asignaron las siguientes responsabilidades en apoyo a los trabajos geodésicos del INEGI:

- Rastreo y registro permanente de la información proveniente de la constelación Navstar.
- Descarga diaria de la memoria del receptor a la PC de las 21:00 a las 22:00 hrs, tiempo del meridiano de 90°
- Mantenimiento preventivo al equipo durante la descarga de la memoria.
- Respaldo diario de la información en disquete 3.5 pulgadas y mensual en cinta de 4 mm.
- Atención a solicitudes de información de usuarios internos (DGG, DGCC, Direcciones Regionales y Coordinaciones Estatales).

Figura 3.3. Liga de las estaciones de la RGNA a las estaciones de alta precisión con coordenadas ITRF



Fuente: Información generada por el autor, 1993.

3.4. Cambios de Estaciones Fijas y proceso de nuevas coordenadas

La Red Geodésica Nacional Activa comenzó a operar y a dar servicio a las Direcciones Generales de Geografía (DGG) y de Cartografía Catastral (DGCC) para el apoyo de sus proyectos de levantamientos GPS de campo desde marzo de 1993; sin embargo, como se mencionó anteriormente su integración y calculo de valores de coordenadas se realizó en varias etapas, pasando de obtener sus coordenadas en ITRF89, a ITRF91 y finalmente en ITRF92 el 18 de agosto del mismo año, quedando a cargo de la DGCC la operación de las estaciones excepto la estación INEG y de la DGG el control técnico de las 14 estaciones fijas y la operación directa de la estación INEG.

En el mes de Noviembre de 1993, en la Subdirección de Geodesia se me ofreció el cargo de jefe del área de la Red Geodésica Activa creada recientemente, la cual integraba el control técnico de la RGNA y la operación de la Estación Fija Aguascalientes (INEG), cargo que se mantuvo hasta el 1 de diciembre del 2000.

Durante este tiempo se dieron acontecimientos que obligaron al INEGI a modificar la RGNA original, entre ellos están el cambio de ubicación de la estación fija Chihuahua (CHIH) en los meses de febrero y marzo de 1994; la integración de la Estación Semifija de Campeche (CAMP) en los meses de mayo y junio de 1994; la reubicación de las estaciones fijas Colima (COLI) en el mes de enero de 1996, Hermosillo (HERM) en el mes de abril del mismo año, nuevamente Chihuahua (CHI2) en junio y julio del mismo año y Monterrey (FMTY) entre agosto y septiembre de 1996 (cuadro 3.3.).

Desde el primer cambio de la RGNA el área de la Red Geodésica Activa estableció la norma para realizar las reubicaciones o el establecimiento de estaciones de la Red Geodésica Nacional Activa generando el Manual de Normas para el Establecimiento de Estaciones de la RGNA, mismo que se enviaba a las coordinaciones estatales que se encargaban de los trabajos previos de selección del lugar y monumentación de la estación, así como del levantamiento GPS bajo los lineamientos descritos en el manual, el cual incluía siete días de observación continua para seleccionar los mejores períodos de cada estación para el proceso; se requería además, el registro de datos meteorológicos (temperatura húmeda y temperatura seca, presión barométrica en milibares, así como % de humedad relativa), cada cuatro horas durante el período de levantamiento comenzando a las 00:00 horas UTC.

Invariablemente el proceso de la información se realizaba en el Área de la Red Geodésica Activa con el software OMNI y con la metodología de relajación de órbitas empleando efemérides precisas, los resultados se ajustaban por el procedimiento de mínimos cuadrados para obtener las coordenadas finales; otro elemento de la normatividad es el cambio del código de cuatro dígitos del nombre de la estación que se reubica, ya que no puede llevar el mismo por tratarse de otra posición.

Cuadro 3.3. Cambios de estaciones en la RGNA		
Estación anterior	Estación nueva	Inicio de operaciones
CHIH	CHI2	94/03/23
	CAMP (SEMIFIJA)	94/06/11
COLI	COL2	96/01/23
HERM	HER2	96/04/19
CHI2	CHI3	96/08/01
FMTY	MTY2	96/09/17
VILL	VIL2	99/10/11
CAMP	CAM2	2000/08

Fuente. Base de datos del área de la Red Geodésica Activa de la DGG, 2000.

Inicialmente la Red Geodésica Nacional Activa se estableció con el objetivo de Contar con una red lo suficientemente precisa que permitiera aprovechar las ventajas de la nueva tecnología GPS, para referir de los trabajos de posicionamiento relativo realizados por el INEGI (Dirección General de Geografía y Dirección General de Cartografía Catastral); sin embargo, para fines de 1993 y principios de 1994 la tecnología GPS comenzó a ser utilizada por la iniciativa privada y por otras dependencias de la Administración Pública Federal, haciendo necesario normar la realización de levantamientos geodésicos con esta tecnología, así como difundir entre la comunidad de usuarios la utilización del nuevo sistema de referencia geodésica.

Para ello se preparó la iniciativa de modificación a las Normas Técnicas para Levantamientos Geodésicos establecidas para México, en estas solo se consideraban

los estándares de precisión para levantamientos tradicionales de acuerdo a la clasificación del cuadro 3.4.

Cuadro 3.4. Estándares de precisión para levantamientos geodésicos tradicionales			
Orden	Clase	Precisión	p.p.m.
PRIMERO	UNICA	1:100 000	10.0
SEGUNDO	I	1:50 000	20.0
	II	1:20 000	50.0
TERCERO	I	1:10 000	100.0
	II	1: 5 000	100.0

Fuente: Normas Técnicas para Levantamientos Geodésicos establecidas para México, 1998.

En ellas se definían los procedimientos mínimos para realizar levantamientos de carácter geodésico con equipo óptico-mecánico y electromagnético, que permitieran alcanzar los estándares definidos.

Con el sistema de Posicionamiento Global se pueden establecer levantamientos con ordenes de precisión muy superiores a los métodos tradicionales, sin embargo, esto no excluye que se sigan realizando levantamientos tradicionales, por lo que se planteó solo la modificación a las Normas Técnicas, para integrar los estándares de precisión para la realización de levantamientos con GPS (cuadro 3.5.) así como sus procedimientos asociados.

Cuadro 3.5. Estándares de precisión para levantamientos con GPS

Orden	Clase	Precisión	p.p.m.
AA	UNICA	1: 100 000 000	0.01
A	UNICA	1: 10 000 000	0.1
B	UNICA	1: 1 000 000	1.0
C *			

* Corresponde a los estándares de precisión para levantamientos tradicionales.

Fuente: Diario Oficial de la Federación el 27 de Abril de 1998.

Adicionalmente en las modificaciones se establecían los parámetros del nuevo sistema de referencia Geocéntrico adoptado para México, el ITRF92 época 1988.0 con elipsoide asociado GRS80 y como elemento de referencia la nueva Red Geodésica Nacional Activa, estos conceptos se publicaron en el Diario Oficial de la Federación el 27 de abril de 1998.

3.5. Reajuste de la Red de 1997

Han sido varios los cambios que sufrió la RGNA desde su creación, lo que llevó a reconsiderar un reajuste completo de la Red, ya que aún cuando el proceso de los datos se apegaba a los requerimientos establecidos para redes de orden "A" en cuanto a la utilización de las efemérides precisas y la liga a estaciones de la RGNA y estaciones fiduciales de las redes de orden "AA", ninguno de ellos había considerado el ajuste de la red completa.

Adicionalmente a lo mencionado, a principios de 1997, se comenzaron a detectar problemas en la estación fija INEG cuando ésta se utilizaba para ligar levantamientos, sus valores de coordenadas parecían introducir errores a los proyectos afectándolos en lugar de mejorar las posiciones. Esto llevó a que durante la realización de varios proyectos, los encargados de los mismos los procesaran sin considerar fija la posición de la Estación INEG, observándose un error fuerte en la altura elipsoidal de la estación.

Debido a lo anterior, se llevó a cabo una campaña para realizar observaciones con la finalidad de determinar nuevos valores de coordenadas para INEG. Los resultados revelaron un cambio drástico de -63 cm en la elevación de la estación desde agosto de 1993 hasta agosto de 1997 (cuadro 3.7.), pero con relación a la posición horizontal, la diferencia era mínima, lo que reflejaba el evidente hundimiento del terreno donde se ubica la estación fija INEG a razón de casi 16 cm por año.

<i>Cuadro 3.6. Cambios en la altura de la estación fija INEG</i>				
ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	ALTURA ELIP.	MES/AÑO
INEG	21 51 22.15594	102 17 03.12353	1889.311	08/1993
INEG	21 51 22.15586	102 17 03.12317	1889.284	06/1994
INEG	21 51 22.15562	102 17 03.12238	1888.6776	09/1997

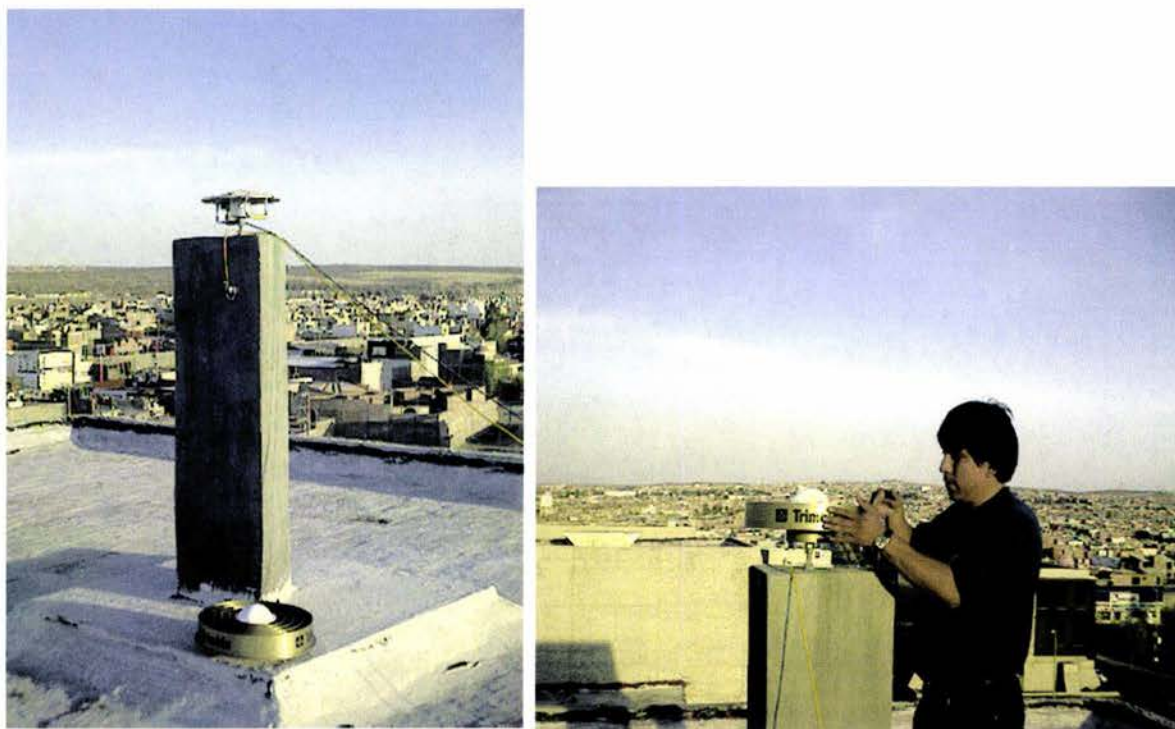
Fuente. Base de datos del área de la Red Geodésica Activa de la DGG, 1997.

Era evidente la necesidad de realizar un reajuste de la red para mantener su consistencia dentro del orden de precisión "A", mismo que se realizó por el área de la Red Geodésica Activa.

Posteriormente se realizaron procesos y ajustes en el año 2000 para la reubicación de la estación VILL por la estación VIL2 y para detectar el movimiento sufrido por la estación OAXA debido a un sismo ocurrido en el mes de octubre del 2000.

Una de las últimas actividades realizadas como jefe del Área de la Red Geodésica Activa, fue la modernización del equipo GPS de la estación INEG, en la que se cambió el receptor ASHTECH ZXII por un TRIMBLE 4700, el cual venía asociado con el software *Trimble Reference Station (TRS)* para descarga automatizada de datos, así como una Antena tipo *Choke Ring* especial para estaciones permanentes.

Figura 3.4. Cambio del equipo de la Estación Fija INEG, se puede observar la antena tipo Choke Ring



Fuente: Archivo fotográfico del autor, 2000.

Con este cambio la estación INEG fue la primera de la RGNA en automatizar el proceso de descarga y respaldo de archivos por hora en los formatos original y RINEX, eliminando la necesidad de detener la observación a las 21:00 horas para hacer esta actividad.

El haber participado en los levantamientos que fueron antecedente de la RGNA así como el haber sido el responsable de los procesos de información GPS aplicando efemérides precisas, mediante la técnica de relajación de órbitas, fueron elementos importantes para hacer frente a la responsabilidad del control técnico de la Red Geodésica Nacional Activa y de la operación de la estación fija INEG, contando para ello con un equipo de colaboradores el cual varió en número debido a que en los primeros años el área incluía tres brigadas de campo, las cuales se integraron en una sola área a mediados de 1998.

Capítulo 4. Colaboración de la RGNA en proyectos Internacionales

En el presente capítulo se hace referencia a la utilidad y la participación que la RGNA ha tenido en proyectos de carácter internacional, así como el intento de establecer convenios con diferentes instituciones encargadas del almacenamiento y difusión de datos geodésicos con fines de investigación, así mismo la forma en que se ha participado en el acercamiento y en la realización de actividades con estas instituciones.

La operación continua de las estaciones de la Red Geodésica Nacional Activa fue difundida en el ámbito nacional e internacional, de tal manera que ha sido solicitada su colaboración para el desarrollo de varios proyectos, entre los más importantes están el proyecto SOPAC y el proyecto SIRGAS.

4.1. Proyecto SOPAC

Desde 1995 iniciaron conversaciones entre el *Scripps Orbit and Permanent Array Center (SOPAC)* de la Universidad de California en San Diego (UCSD) y la Dirección de Información Básica de la Dirección General de Geografía del INEGI, con la intención de intercambiar información de las Redes Geodésicas, *Southern California Integrated GPS Network (SCIGN)/ Permanent GPS Geodetic Array (PGGA)* y la Red Geodésica Nacional Activa (RGNA) respectivamente, participando por el SOPAC el Dr. Yehuda Bock, Director del SOPAC y la Dra. Luciana Astiz, participante del proyecto SOPAC, y

por el INEGI el Ing. Gabriel Álvarez, Director de Información Básica y quien escribe como responsable de la RGNA, con la finalidad de explorar la posibilidad de establecer un acuerdo de cooperación entre ambas instituciones.

El SOPAC necesitaba información del noroeste y centro de México, para apoyar sus estudios de deformación de la corteza terrestre, ofreciendo a cambio apoyo para modernizar el equipo GPS existente en las Estaciones Fijas de la RGNA, acceso a sus bancos de información para la obtención de datos de estaciones fiduciales y efemérides precisas, así como promover ante las instancias necesarias, la integración de las estaciones de la RGNA a la Red Internacional CIGNET (*Cooperative International GPS Network*).

El SOPAC propuso como instrumento de formalización un memorandum de entendimiento entre ambas instituciones, sin embargo, por diversas circunstancias administrativas planteadas por la Dirección de Asuntos Internacionales del INEGI, el avance para el establecimiento de este acuerdo se retrasó algunos años, retomando actividades en enero de 1999, restableciendo la comunicación entre el Dr. Yehuda Bock y la Dirección General de Geografía; la participación que se tuvo para este momento, fue la de mantener la comunicación directa con el SOPAC, así como coordinar la realización de una reunión en el mes de febrero de 1999, en la que se presentaron los antecedentes y la situación actual del proyecto, el cual integraba la participación de la UNAM representada por el Instituto de Geofísica.

De esta reunión el SOPAC retomó la propuesta del Memorandum de entendimiento, enviando la versión en inglés, por lo que se tuvo que realizar la traducción del documento para presentarlo a las autoridades para su revisión y visto bueno en caso de no tener objeciones.

A pesar de que técnicamente no existía inconveniente para llevar a efecto la firma del memorandum de entendimiento, persistían trámites administrativos que retrasaron su formalización; no obstante, algunos aspectos considerados en este se llevaron a la práctica como avance.

- En un período de prueba para la transferencia de la información por medios electrónicos, se proporcionó información de la Estación Fija INEG al SOPAC por vía ftp.
- Con la Información disponible de la estación INEG, el SOPAC promovió su integración a la red cooperativa internacional GPS, CIGNET (*Cooperative International GPS Network*), actualmente Servicio GPS Internacional para la Geodinámica o IGS (*International GPS Service for Geodynamic*), llevándose a efecto en el mes de marzo de 1999.
- El SOPAC abrió al INEGI el acceso a sus archivos de datos de estaciones fiduciales y efemérides precisas, siendo estas empleadas en los últimos procesos de información de la RGNA.

Como parte de los compromisos de cooperación, se establecía también que el SOPAC capacitaría al INEGI en la concentración y manejo de información de estaciones GPS y el cálculo de órbitas precisas mediante la aplicación de los programas GAMIT/GLOBK y EGADS.

De esta manera, en el mes de junio de 1999 el SOPAC por medio de su Director extendió una invitación para que asistiera a sus instalaciones en La Jolla, California (figura 4.1.), durante el mes de agosto del mismo año, con el objetivo de tener un primer acercamiento a los procedimientos utilizados en el almacenamiento y disseminación de datos en el SOPAC.

Figura 4.1. Instalaciones del SCRIPPS Institution of Oceanography en la Universidad de California en San Diego, lugar desde donde opera el SOPAC



Fuente: SCRIPPS Institution of Oceanography, 2000.

Una vez autorizada la asistencia por la presidencia del INEGI, se determinó como ocasión propicia para la visita, el período en el que la Compañía *Leica Geosystems* realizaría en el SOPAC la demostración del equipo especial para estaciones de referencia, esto fue del 9 al 15 de Enero del 2000 (figura 4.2.).

Figura 4.2. Actividad en el curso taller en el Scripps Institution of Oceanography en enero del 2000



Fuente: Archivo fotográfico del autor, 2000.

En el taller se abordaron los siguientes temas:

- Avance con relación al memorándum de entendimiento INEGI-SOPAC
- Sesión informativa del Software EGADS
- Presentación de las Estaciones de Referencia de la Red SCIGN
- Presentación del equipo CRS 1000 y software CRSlink
- Aplicación del Monitoreo de las estaciones de referencia de la red IGS (*International GPS Service for Geodynamics*)

- Modelo de Archivo y Diseminación de datos del SOPAC
- Análisis de los datos realizados en SOPAC con el software GAMIT/GLOBK
- Visita a la estación CORS SIO3
- Equipo CRS1000 con correcciones en tiempo real

Asistieron además del INEGI, representantes de la UNAM, CICESE de Ensenada, *United States Geological Survey* de Estados Unidos de Norteamérica, y de *Leica Geosystems* (figura 4.3.).

Figura 4.3. Participantes en el curso taller del SOPAC



De izquierda a derecha en segundo plano, Eduardo Espinosa de Leica de México, Vladimir Kostoglodov de la UNAM, Eduardo Vázquez de INEGI, Javier González del CICESE, en primer plano Raúl Ochoa del CICESE y José Antonio Santiago de la UNAM.

Fuente: Archivo fotográfico del autor, 2000.

Como cierre del evento el Dr. Yehuda Bock propuso a los participantes al curso (UNAM, CICESE e INEGI), la integración de las estaciones GPS de referencia de las instituciones Mexicanas con la RGNA, asumiendo el INEGI una función similar a la del SOPAC, en el almacenamiento diario y disseminación de datos a los usuarios científicos y civiles, adaptando los modelos del SOPAC al INEGI.

El proyecto fue planteado a las autoridades del INEGI en su momento, como la propuesta para establecer la Red Integrada GPS de México (RIGM), en la que participarían la UNAM con sus estaciones CAYCO y ACAPULCO, el CICESE con sus estaciones en Baja California, así como otras instituciones que aportaran información de estaciones de GPS referencia de operación continua; sin embargo, no se concretaron los convenios respectivos.

Es importante mencionar que el SOPAC es uno de los tres Centros de Almacenamiento de Datos de las principales Redes GPS del Mundo, los otros dos son el del IERS (*International Earth Rotation Service*) que se localiza en Francia y el NGS (*National Geodetic Survey*) en Estados Unidos de Norte América.

Las redes GPS que forman parte del banco de información del SOPAC se encuentran distribuidas por los cinco continentes y son parte de instituciones públicas, privadas, de educación superior e investigación; a continuación se listan:

Southern California Integrated GPS Network (SCIGN)

Alaska Deformation Array (AKDA)

Australian Regional GPS Network (ARGN)

Bay Area Regional Deformation GPS Network (BARD)

Basin and Range GPS Network (BARGN)

Continuously Operating Reference Stations (CORS)

Eastern Basin Range Yellowstone (EBRY)

European Reference Frame (EUREF)

Forecast Systems Laboratory (FSL)

International GPS Service for Geodynamics (IGS)

International GPS Service for Geodynamics Core Sites (IGS-C)

Institute for High Temperatures (IVTAN)

Jet Propulsion Laboratory (JPL)

Mediterranean GPS Network (MGN)

Northeast Eurasia Deformation Array (NEDA)

Pacific Northwest Geodetic Array (PANGA)

Pacific GPS Facility (PGF)

Red Geodésica Nacional Activa (RGNA)

SuomiNet Geodetic (SNG)

Survey of Israel / Tel Aviv University / Royal Jordanian Geographic Centre (SOI-TAU-RJGC)

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

Unknown Affiliation (UNKNOWN)

Venezia Consorzio Nuova (VENICE)

Western Canada Deformation Array (WCDA)

Para mayor información sobre las actividades del SOPAC remitirse a la siguiente página WEB: <http://sopac.ucsd.edu/>

4.2. *Proyectos en Centroamérica y Proyecto SIRGAS*

Otros proyectos en los que la RGNA ha participado, son el establecimiento de las redes geodésicas de alta precisión de Guatemala, El Salvador y Costa Rica, empleando las estaciones del sureste como referencia, principalmente las estaciones MERI, CHET, VILL y posteriormente VIL2 y OAXA.

En el mes de agosto-septiembre de 1999 se recibió la invitación por parte del Dr. Paulo Souto Fortes, del Instituto Brasileño de Estadística y Geografía (IBGE), Director del proyecto SIRGAS para participar en una campaña internacional que se realizó del 10 al 19 de mayo del año 2000; ésta sirvió para definir el Sistema Geocéntrico de Referencia para América del Sur.

El INEGI participó en el proyecto con la información de las catorce estaciones fijas y la estación semifija CAM2, ligando la RGNA con las Redes Internacionales de América del Sur (Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Chile, Ecuador, Guayana Francesa, Paraguay, Perú, Uruguay, Venezuela, Trinidad y Tobago, Nicaragua, Honduras, Puerto Rico, Jamaica, Guatemala) y las redes de América del Norte de Canadá y Estados Unidos. La participación de los países norteamericanos fué de vital importancia para que la definición del Sistema Geocéntrico de Referencia fuera para todo el continente americano ya que en etapas anteriores (1995), el proyecto sólo consideraba información para América del sur (figura 4.4.), pero para el año 2000 contempló integrar el continente completo (figura 4.5.).

Para mayor referencia acerca del proyecto SIRGAS, puede consultar las siguientes páginas WEB:

<http://www.ibge.gov.br/ibge/geografia/seminario/sirgas/principal.htm>

<http://www.dgfi.badw-muenchen.de/gps/sirgas.html>)

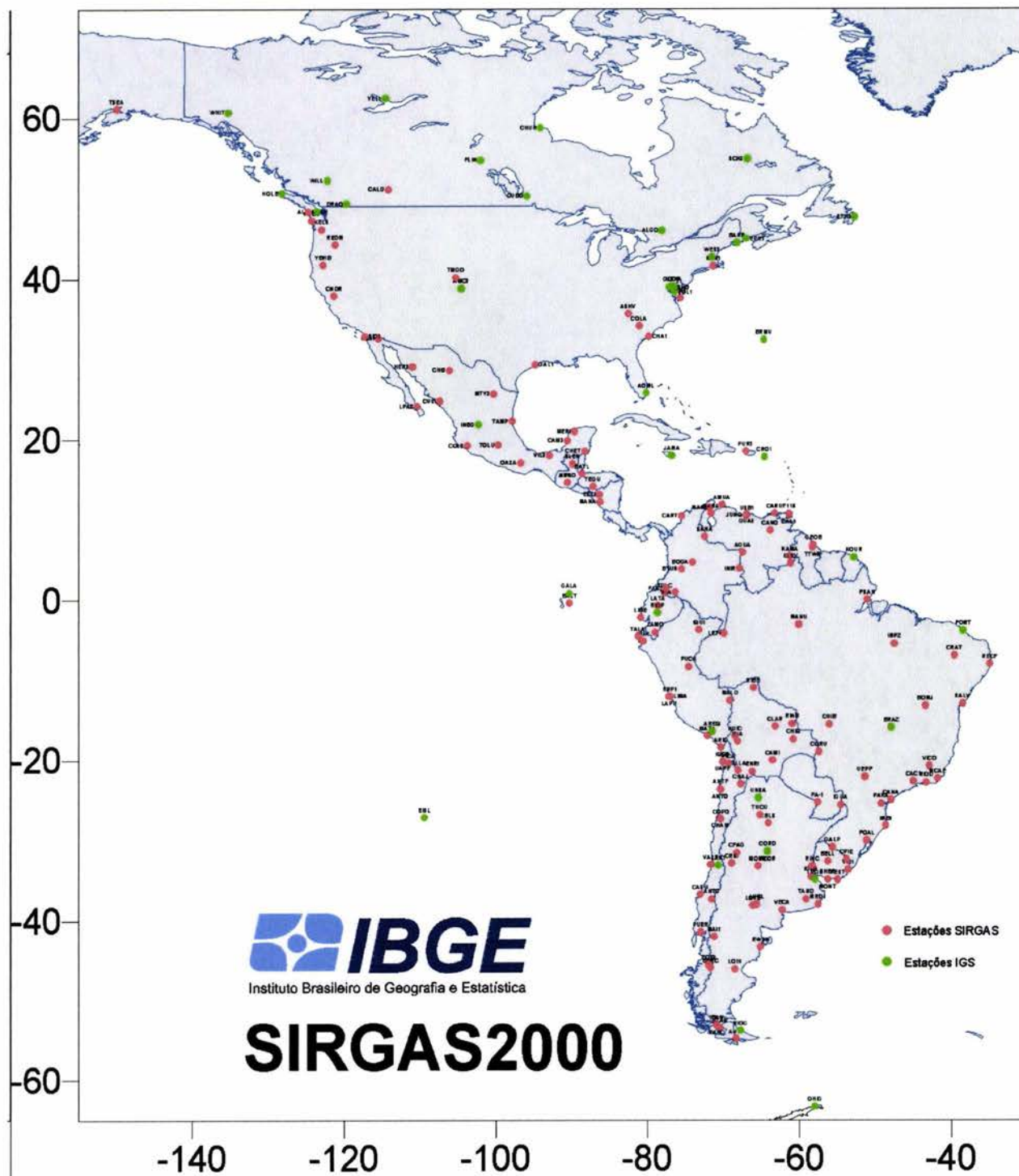


Figura 4.4. Estado del Proyecto SIRGAS en 1995

Fuente: Página web del Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut,

proyecto SIRGAS, 2000

Figura 4.5. Esquema del Proyecto SIRGAS 2000



Fuente: Página web del IBGE institución que preside el proyecto SIRGAS, 2000.

Estar al frente del área de la Red Geodésica Activa me permitió establecer y mantener contacto directo con personal de varias instituciones nacionales e internacionales, esto represento una ventaja, para mantenerse actualizado en lo referente a equipo GPS, software de proceso así como en aplicaciones del Sistema de Posicionamiento Global en diversas áreas de la cartografía.

Resultados

Los resultados de 10 años de trabajo en la Subdirección de Geodesia de la Dirección General de Geografía, de los cuales siete años fueron al frente del Área de la Red Geodésica Activa, elaborando el programa de actividades de la Estación Fija INEG y así como el programa de supervisión técnica a la Red Geodésica Nacional Activa, se reflejan en la documentación que se relaciona en este apartado.

Adicionalmente, debido al constante contacto con las Instituciones de vanguardia Internacional así como con los representantes de las compañías fabricantes de equipo GPS, el Área de la Red Geodésica Activa, se convirtió en la evaluadora de los principales proyectos que involucraban actividades de GPS, como son: el desarrollo de la aplicación del GPS Aerotransportado, la Actualización Cartográfica mediante GPS, del cual se elaboraron los manuales de procedimiento con dos equipos diferentes y se capacitó a personal de las oficinas estatales del INEGI.

Entre los principales documentos que se generaron y/o que se realizaron durante este período de gestión están:

1.- Listados de Coordenadas de diversas épocas.

Presentan las variaciones de coordenadas sufridas por cada estación fija debido a los cambios mencionados (nuevas estaciones, reubicaciones, reproceso y reajustes).

2.- Manual de Normas Para el Establecimiento de las Estaciones de la RGNA.

Contiene los lineamientos generales a considerar para el establecimiento de una estación con las características de la Red Geodésica Nacional Activa así como si se trata de una reubicación.

3.- Manual de Normas Técnicas para el Control de las Estaciones de la RGNA.

Establece los procedimientos e instrumentos para llevar a cabo un control eficiente de la actividad de las estaciones Fijas de la RGNA en cuanto al Depósito de la información al servidor concentrador, la atención de servicios a usuarios internos y a usuarios externos, así como los formatos a aplicar en las Visitas de supervisión a las Estaciones de la RGNA.

4.- Manual de Procedimientos de la Red Geodésica Activa.

Muestra los Objetivos, Políticas y Normas del Área de la Red Geodésica Activa, así como los procedimientos a aplicar en la Estación Fija INEG y los procedimientos de Asesoría Técnica a la RGNA.

5.- Catálogo de formas del Manual Normas y Procedimientos de Red Geodésica Activa.
Es el complemento al Manual de Procedimientos de Red Geodésica Activa, e integra los formatos aplicados por el área en las distintas actividades.

6.- Complementación del manual Normas y Procedimientos para el Servicio de la Red Geodésica Nacional Activa.

Contiene los procedimientos detallados para la preparación de información que se enviará para atender las solicitudes de información de usuarios de la RGNA, este manual se elaboró entre las Direcciones Generales de Geografía y Cartografía Catastral. Inicialmente su aplicación era exclusiva para usuarios internos, pero al abrirse la utilidad de la RGNA, se aplicó también a usuarios externos.

7.- Manual de Procedimientos para la Recepción y Administración de Datos en el Servidor Geodesia (200.23.8.120)

Incluye los procedimientos para el Depósito y transferencia de información de las estaciones de la RGNA al servidor Geodesia (200.23.8.120) así como los respectivos a la consulta y recepción de información por parte de los usuarios internos de la RGNA.

8.- Integración de la Red Geodésica Nacional Activa a las Redes Internacionales y en Proyectos Regionales.

Documentos relacionados con los proyectos SOPAC y SIRGAS.

9.- Archivos de presentaciones en Powerpoint y documentos de Word de los siguientes temas:

a) Fundamentos de GPS.

b) La Red Geodésica Nacional Activa y el Nuevo Sistema de Referencia Geodésico. (Presentado para difundir la RGNA)

c) El GPS aerotransportado (Presentado en el III Congreso Nacional de Ingeniería Topográfica realizado en Guanajuato en el mes de Septiembre de 1996).

d) El GPS aplicado a la Actualización Cartográfica (Manuales de esta aplicación con 2 marcas de equipo diferentes; presentado en la Semana de Ingeniería Topográfica en el mes de Junio de 1998 en el IPN).

e) Proyecto SEMIP Subred Geodésica Minera (Presentado en el primer Congreso GPS en México en el estado de Sonora en el mes de Abril de 1997).

f) Proyecto SOPAC (Antecedentes y avances del proyecto).

Consideraciones finales

El establecimiento de la RGNA en 1993 como apoyo a los trabajos realizados con GPS por el INEGI así como el incremento en usuarios del sistema entre los que están Instituciones del Gobierno y usuarios particulares a partir de 1994, llevó al INEGI como instancia normativa a realizar las actividades necesarias para adicionar y modificar las normas técnicas para levantamientos geodésicos publicadas en el Diario Oficial el 1 de abril de 1985; estableciendo en estas modificaciones el cambio del sistema geodésico de referencia del NAD27 con elipsoide asociado de Clarke de 1866, al ITRF92 época 1988.0 con elipsoide asociado GRS80 y la oficialización de la Red Geodésica Nacional Activa como la red de referencia para todo trabajo geodésico realizado en la República Mexicana, estas modificaciones fueron publicadas en el Diario Oficial el 27 de abril de 1998.

Haber participado en los primeros trabajos GPS realizados por el INEGI y en aquellos que llevaron a consolidar los cambios que demandaba el uso de la tecnología GPS, ha sido parte de la formación y actualización, que como profesionalista se necesita para mantenerse vigente en este mundo, que en cuanto a tecnología cambia a ritmos vertiginosos.

Esta experiencia de 10 años involucrado con la evolución del Sistema de Posicionamiento Global y sus aplicaciones, ha permitido valorar la importancia del área de cartografía en la formación del egresado de la Licenciatura en Geografía, sobre todo

considerando que cuando me incorporé a la Subdirección de Geodesia en 1990, el ser Geógrafo y no Ingeniero, representó una dificultad adicional ante el hermetismo del grupo de profesionistas; sin embargo, aplicando los conocimientos adquiridos en la carrera principalmente los del área de cartografía, permitieron involucrarme y entender el trabajo de la Geodesia y, llegado el momento ser el responsable de transmitir las capacitaciones necesarias para llevar a cabo distintas aplicaciones del Sistema de Posicionamiento Global en las actividades del INEGI.

A 10 años de haber iniciado actividades en esta área, los sistemas se han simplificado, actualmente existen manuales en español, lo que no existía en 1991, esto hace más fácil entender estas herramientas, que si bien surgieron hace casi 15 años, siguen siendo desconocidas por muchos de los profesionistas del área de ciencias de la Tierra; esto se ejemplifica con la propia RGNA, la cual se estableció desde 1993 y fue hasta después de su oficialización en 1998, que algunos usuarios saben de su existencia y del cambio de sistema geodésico de referencia.

Es importante también resaltar la necesidad que tiene para el geógrafo el conocer y manejar adecuadamente la computadora personal, ya que cada día surgen nuevas aplicaciones del GPS que pueden ser utilizadas para el análisis geográfico y éstas se basan en programas de procesamiento de información que como se mencionó en el informe, corren en diferentes sistemas operativos como son Windows, UNIX, y los más antiguos en MS-DOS, lo que obliga al profesionista a mantenerse al día en esta materia.

Finalmente, considero que las bases de la cartografía en la formación del geógrafo son elementos necesarios e importantes para que éste pueda desarrollarse en equipos interdisciplinarios particularmente en el campo de la geodesia, son estas bases las que permiten comprender el funcionamiento del Sistema de Posicionamiento Global y su aplicación en la geodesia.

Bibliografía

Caturla J. L. (1992) *Sistema de Posicionamiento Global (GPS)*. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. España.

----- (1993) *Differential GPS Explained*. Trimble Navigation Limited, Sunnyvale CA., USA.

----- (1989) *GEOLAB Software User Guide*. GeoSurv, Canada.

----- (1989) *Geometric Geodetic Accuracy Standards and Specifications for using GPS relative Positioning Techniques*. Federal Geodetic Control Committee. USA.

----- (1993) *GPS a Guide to the next utility*. Trimble Navigation Limited. USA.

----- (1992) *GPS Surveyor's Field Guide*. Trimble Navigation Limited. USA.

Grunthal M. (1992) *Heavy-Underlined information applies to A-order Network Observations*. NOAA, NOS, National Geodetic Survey. USA.

Hoffman-Wellenhof, Lichtinger, Collins. (1992) *GPS Theory and Practice*. Springer-Verlag. Österreich.

----- (1984) *Introducción al conocimiento de la ley de información estadística y geográfica*. INEGI- Dirección General de Geografía. México.

----- (1994) *La Nueva Red Geodésica Nacional, Una visión hacia el futuro*. INEGI. México.

Mader et al. (1992) *OMNI 3.22 User's Guide Manual*. National Geodetic Survey. USA.

----- (1998) *Manual de Normas para el Establecimiento de las Estaciones de la RGNA., Área de la Red Geodésica Activa*. Subdirección de Geodesia, Dirección de Información Básica, D.G.G., INEGI. México.

----- (1993) *Manual de Normas y Procedimientos para el Servicio de la Red Geodésica Nacional Activa*. INEGI. México.

----- (1998) *Manual de Procedimientos de Red Geodésica Activa*. Dirección de Información Básica, D.G.G., INEGI. México.

----- (1998) *Manual de Procedimientos para la Recepción y Administración de Datos de la RGNA en el Servidor Geodesia (200.23.8.120)*. Área de la Red Geodésica Activa, Subdirección de Geodesia, Dirección de Información Básica, D.G.G., INEGI. México.

Medina M. (1896) *Geodesia Geométrica*. Editorial Limusa, México.

----- (1998) *Normas Técnicas para el Control de las Estaciones de la RGNA*. Área de la Red Geodésica Activa, Subdirección de Geodesia, Dirección de Información Básica, D.G.G., INEGI. México.

----- (1989) *SATMAP Satellite Mission Analysis Planner Guide to Operations Version 3.40*. NOAA, NOS, NGS. USA.

Soler T. et al. (1993) *Practical Hints to process GPS vectors using OMNI (A flow chart approach)*. National Geodetic Survey. USA.

Spofford P. (1990) *Guidelines for Digitizing project and Station Occupation information Using Program CR8BB*. S&PGB, NOAA. USA.

Strange W., Love J. (1991) *High Accuracy Reference Networks; a National Perspective*. NOAA, NOS, National Geodetic Survey. USA.

----- (1990) *Technical Guidelines and specifications for establishing High Accuracy Geodetic Networks by GPS relative positioning survey methods*. NOAA, NOS, National Geodetic Survey. USA.

Torge W. (1980) *Geodesia*. Editorial Diana Tecnico, México.

Toscano R. (1945) *Bosquejo histórico sobre las medidas hechas en la antigüedad para determinar la forma de la tierra*. Boletín de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística Tomo LX, Núm. 3. México.

----- (1989) *TRIMBLE 4000 SST Operation Manual*. Trimble Navigation Limited, Survey & Mapping Division, Sunnyvale CA., USA.

----- (1989) *TRIMnet Adjust Software*. Trimble Navigation Limited, Survey & Mapping Division. USA.

----- (1989) *TRIMVEC PLUS Processing Software Manual*. Trimble Navigation Limited, Survey & Mapping Division. USA.

----- (1989) *UNIX System V, A General Reference*. G&GS, S&PGB, NGS. USA.

Wells D. et al. (1987) *Guide to GPS Positioning*. Canadian GPS Associates. Canada.

Paginas WEB relacionadas

- *Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut* (Instituto Alemán de Investigación Geodésica) / Proyecto SIRGAS
<http://www.dgfi.badw-muenchen.de/gps/sirgas.html>
- Instituto Brasileño de Geografía y Estadística / Proyecto SIRGAS
<http://www.ibge.gov.br/ibge/geografia/seminario/sirgas/principal.htm>
- National Geodetic Survey <http://www.ngs.noaa.gov/>
- Scripps Orbit and Permanent Array Center <http://sopac.ucsd.edu/>



Nota aclaratoria:

Los nombres de productos, logotipos, diseños, títulos, palabras o frases mencionados en este documento pueden ser marcas comerciales, marcas de servicio o nombres comerciales de sus respectivos propietarios u otras entidades y pueden estar registrados en determinadas jurisdicciones.

Este documento contiene direcciones de sitios Web de terceros, por lo que el autor no es responsable del contenido de ninguno de los sitios mencionados.

En ambos casos anteriores, sólo se hace mención de ellos como mera referencia y sin fines de lucro.