

UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISION DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

EL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL GPS Y SUS APLICACIONES A LA GEOLOGÍA



BIBLIOTECA DEPTO.
DE GEOLOGIA

Héctor Salazar Solorzano.

Hermosillo, Sonora Julio de 1998

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

UNIVERSIDAD DE SONORA

Hermosillo, Sonora.

DIVISION DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

TEL. 59-21-10
FAX. 59-21-11



Departamento de Geología

Enero 13 1998.

GEOL. JUAN JOSE PALAFOX REYES

Jefe de Departamento
Departamento de Geología
Universidad de Sonora
Presente

BIBLIOTECA DEPTO.
DE GEOLOGIA

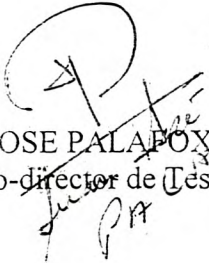
Por este conducto estamos sometiendo a su consideración el siguiente tema de tesis:

"EL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS) Y SUS APLICACIONES A LA GEOLOGIA"

Esto es con el fin de que el alumno: **HECTOR SALAZAR SOLORZANO**, pueda presentar su examen profesional, para obtener el título de Geólogo.

Sin otro en particular, quedo de Usted.

ATENTAMENTE


GEOL. JUAN JOSE PALAFOX REYES
Co-director de Tesis


GEOL. ISMAEL MINJAREZ SOSA
Director de Tesis

C.c.p. Interesado
Archivo



EL SABER DE MIS HIJOS
HARA MI GRANDEZA

BIBLIOTECA
DE CIENCIAS EXACTAS
Y NATURALES

UNIVERSIDAD DE SONORA

Hermosillo, Sonora.

DIVISION DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

TEL. 59-21-10
FAX. 59-21-11



Departamento de Geología

Enero 19 1998.

GEOL. JUAN JOSE PALAFOX REYES

Director de Tesis

Departamento de Geología

Universidad de Sonora

Presente

Por este conducto le comunico que ha sido aprobado el tema de tesis propuesto por usted, intitulado:

"EL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS) Y SUS APLICACIONES A LA GEOLOGIA"

Esto es con el fin de que el alumno: **HECTOR SALAZAR SOLORZANO**, pueda presentar su examen profesional, para obtener el título de Geólogo. Asimismo le comunico que han sido asignados los siguientes sinodales:

GEOL. ISMAEL MINJAREZ SOSA
GEOL. JUAN JOSE PALAFOX REYES
GEOL. ALEJANDRA MONTIJO GONZALEZ

Sin otro en particular, quedo de Usted.

ATENTAMENTE
"EL SABER DE MIS HIJOS HARA MI GRANDEZA"

GEOL. JUAN JOSE PALAFOX REYES
Jefe de Departamento



C.c.p. Interesado
Archivo

JJPR*ag

EL SABER DE MIS HIJOS
HARA MI GRANDEZA
UNIVERSIDAD DE SONORA

BIBLIOTECA DEPTO.
DE GEOLOGIA

UNIVERSIDAD DE SONORA

Hermosillo, Sonora.

DIVISION DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

TEL. 59-21-10

FAX. 59-21-11



Departamento de Geología

NOMBRE DE LA TESIS:

**"EL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS) Y
SUS APLICACIONES A LA GEOLOGIA"**

BIBLIOTECA DEPTO.
DE GEOLOGIA

NOMBRE DEL SUSTENTANTE:

HECTOR SALAZAR SOLORZANO

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada como requerimiento parcial para obtener el Título de Geólogo en la Universidad de Sonora.


GEOL. ISMAEL MINJAREZ SOSA

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada como requerimiento parcial para obtener el Título de Geólogo en la Universidad de Sonora.


GEOL. JUAN JOSE PALAFOX REYES

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada como requerimiento parcial para obtener el Título de Geólogo en la Universidad de Sonora.


GEOL. ALEJANDRA MONTIJO GONZALEZ



EL SABER DE MIS HIJOS
HARA MI GRANDEZA
BIBLIOTECA DE CIENCIAS
EXACTAS Y NATURALES

ATENTAMENTE
"EL SABER DE MIS HIJOS HARA MI GRANDEZA"


GEOL. JUAN JOSE PALAFOX REYES
Jefe de Departamento



EL SABER DE MIS HIJOS
HARA MI GRANDEZA
DEPTO. GEOL.

DEDICATORIA.

A mis padres: Lourdes y Héctor.

BIBLIOTECA DEPTO.
DE GEOLOGIA

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por darme la oportunidad de vivir, porque siempre me alentaron a seguir adelante y me apoyaron para alcanzar esta meta, y por estar ahí cuando los he necesitado.

A Lety por su amor y por aguantarme todos estos años.

A mis hermanas Claudia y Corinne, por su comprensión y ayuda, y porque juntos formamos una formidable familia.

A todos y cada uno de mis maestros, por compartir conmigo algo de su sabiduría, en especial quisiera agradecer a Juan José Palafox Reyes, Ismael Minjares Sosa, Alejandra Montijo Gonzalez y Olivia Pérez Ramos, así como al proyecto de CONACYT 3520, por las facilidades y la ayuda prestadas para la realización del presente trabajo.

A la Universidad de Sonora por permitirme ser uno más de sus hijos.

Al Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática por haberme brindado las facilidades para la realización del presente trabajo.

A mis compañeros de trabajo Martín Mijares Mendoza, Armando García López, y Hernando Muñoz Picos, por su amistad y ayuda desinteresada en la elaboración de este trabajo.

BIBLIOTECA DEPTO
DE GEOLOGIA

La libertad es una aventura sin fin, en la cual arriesgamos nuestras vidas y mucho más, por unos momentos que no se pueden medir con palabras o pensamientos. Libertad de volar en ese infinito. Libertad de disolverse, de elevarse, de ser como la llama de una vela, que aun al enfrentarse a la luz de un billón de estrellas permanece intacta, porque nunca pretendió ser más de lo que es: la llama de una vela.

Don Juan Matus.



PRESENTACIÓN.

El uso cada vez más frecuente de receptores GPS, en un sin número de aplicaciones, esta convirtiendo a este sistema en el estándar internacional de posicionamiento y navegación mundial, desgraciadamente esta tecnología es relativamente nueva, su información esta restringida y poco difundida en México, motivo por el cual el objetivo del presente trabajo es dar a conocer los principios de funcionamiento del Sistema de Posicionamiento Global (GPS), los principales métodos de levantamiento GPS, las precisiones que se pueden obtener, así como algunas de las aplicaciones de la tecnología GPS en la Geología.



**BIBLIOTECA
DE CIENCIAS EXACTAS
Y NATURALES**

EL SABER DE MIS HIJOS
HARA MI GRANDEZA

BIBLIOTECA DE
DE GEOLOGIA

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
PRESENTACIÓN.....	iv
TABLA DE CONTENIDO.....	v
1.- INTRODUCCIÓN.....	1
2.- EL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS).....	3
2.1.- Definición.....	3
2.2.- El GPS esta compuesto por 3 segmentos.....	3
2.2.1.- Segmento espacial.....	3
2.2.2.- Segmento de control.....	4
2.2.3.- Segmento usuarios.....	4
2.3.- El Sistema Global de Navegación Satelitar (GLONASS).....	5
3.- PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DEL GPS.....	7
3.1.- Los satélites actúan como puntos de referencia.....	7
3.2.- La distancia al satélite se obtiene midiendo el tiempo de viaje de la señal.....	7
3.3.- Se necesitan cuatro satélites para calcular la posición.....	7
3.3.1.- Ejemplo en 2 dimensiones (2D).....	9
3.4.- Calculo de coordenadas geodésicas.....	11
3.5.- Proyecciones.....	13
4.- SEÑALES DE LOS SATÉLITES.....	15
4.1.- Código C/A.....	15
4.2.- Código P.....	15
4.3.- Código Y.....	16
4.4.- Mensaje de navegación.....	16
4.5.- Sumario de frecuencias.....	17
4.6.- Tipos de receptores.....	17
5.- FUENTES DE ERROR DEL GPS.....	18
5.1.- Errores en los relojes de los Satélites.....	18
5.2.- Errores en las órbitas de los satélites.....	18
5.3.- Errores atmosféricos.....	18
5.4.- Error del receptor.....	19
5.5.- Error de multicamino (Multipath).....	19
5.6.- Disponibilidad Selectiva (SA).....	20
5.7.- Anti-spoofing (AS).....	20
5.8.- Dilución de la Precisión de la Posición (PDOP).....	20
5.9.- Sumario de fuentes de error GPS.....	22
6.- DIFERENCIAL GPS (DGPS).....	23
6.1.- Definición.....	23
6.2.- El problema.....	23
6.3.- La Solución.....	24
6.3.1.- Medición de errores en el receptor de referencia.....	24
6.3.2.- Envío de correcciones a receptores alternativos.....	24
6.3.3.- Post-Proceso.....	25
6.3.4.- Utilización de los códigos (C/A, P).....	25
6.3.5.- Utilización de la fase portadora (carrier).....	26

7.- MÉTODOS DE LEVANTAMIENTO CON EQUIPOS GPS.	30
7.1.- Método estático.	31
7.2.- Método estático rápido.	31
7.3.- Método cinemático.	31
7.4.- Método Cinemático en Tiempo Real (RTK).....	32
7.5.- Operación autónoma.	33
7.6.- Resumen de precisiones.....	33
8.- SISTEMA GEODÉSICO DE REFERENCIA (SGR).	34
8.1- Definición.....	34
8.2.- SGR NAD27.	34
8.3.- SGR NAD83.	34
8.4.- SGR GRS80.....	35
8.5.- SGR WGS84.....	35
8.6.- SGR ITRF.....	35
8.7.- Adopción del Sistema Geodésico de Referencia ITRF92 en México.	36
9.- RED GEODÉSICA NACIONAL ACTIVA (RGNA).	38
9.1.- Antecedentes e implementación.....	38
9.2.- Ventajas de utilizar la nueva RGNA.....	38
9.3.- Ubicación y coordenadas de las estaciones fijas de la RGNA.....	39
9.4.- Utilización de la información de la RGNA.	41
9.5.- Transformación NAD27-ITRF92.	42
9.6.- Red Geodésica Nacional Pasiva (RGNP).	43
9.7.- Determinación de alturas sobre el nivel medio del mar con GPS.	43
10.- USOS DEL GPS EN GEOLOGÍA	45
10.1.- Navegación.....	45
10.2.- Exploración y Cartografía.	46
10.3.- Cuadrículas de muestreo.....	47
10.4.- Batimetría.....	48
10.5.- Topografía y minería.	48
10.6.- Aplicaciones GIS.....	50
10.7.- Medición de puntos de control para catastro minero.....	51
10.8.- Control fotogramétrico.....	53
10.9.- Movimiento de placas tectónicas	54
APÉNDICE A	58
GLOSARIO	67
BIBLIOGRAFÍA.....	73

BIBLIOTECA DEPTO.
DE GEOLOGÍA

1.- INTRODUCCIÓN.

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS), es un sistema de posicionamiento y navegación mundial, para uso civil y militar, diseñado por el departamento de defensa de los Estados Unidos. El cual esta basado en una constelación de 24 satélites, orbitando la tierra que mediante la emisión de ciertos códigos especiales, permiten a los receptores en la Tierra calcular su posición, velocidad y dirección de una manera rápida y precisa.

El principio de funcionamiento del GPS se basa en que las órbitas de los satélites son monitoriadas constantemente, de manera que estos satélites actúan como puntos de referencia, ya que su posición instantánea se conoce con precisión, porque tanto las estaciones de control como los satélites cuentan con relojes atómicos muy precisos. Los satélites transmiten señales y códigos especiales mediante los cuales, un receptor puede determinar el tiempo que le tomo a la señal viajar del satélite al receptor, y con este tiempo calcular su distancia al satélite, y con un mínimo de 4 distancias (satélites), el receptor puede calcular su posición, velocidad y rumbo.

Pero como en todo, existen varios errores que afectan a las mediciones GPS como: errores en las órbitas y relojes de los satélites, errores atmosféricos, errores producidos por el rebote de la señal (multipath) provocado por obstrucciones cercanas al receptor, así como errores intencionales como la Disponibilidad Selectiva (SA), y el Anti-Spoofing (AS). Estos errores pueden ser eliminados o minimizados mediante levantamientos diferenciales. Dependiendo del tipo de trabajo a realizar y de su precisión requerida, existen varios métodos de levantamientos como: operación autónoma, estático, estático rápido, cinemático, cinemático en tiempo real (RTK), entre los más comunes. Para los cuales existen diferentes tipos de equipos capaces de recibir varias clases (partes) de las señales transmitidas por los satélites como son: código C/A, código P, y las fases portadoras (carriers), también llamadas bandas (L1 y L2).

En la actualidad las únicas técnicas disponibles de igual o mayor precisión que el GPS, son las técnicas basadas en interferometría de bases muy largas (VLBI), y medición láser a satélites. Una de las claves de la precisión del GPS, es que esta basado en un Sistema Geodésico de Referencia (SGR), preciso y riguroso como el WGS84, el cual es un sistema global, tridimensional y geocéntrico, congruente para un sistema satelitario gravitacional. En este sentido hay que hacer notar que el antiguo sistema NAD27 tiene un carácter continental, bidimensional y no geocéntrico, motivo por el cual, los levantamientos con equipos GPS no deben ser referidos al NAD27, por que la gran precisión de estos levantamientos se pierde.

El desarrollo de modernos equipos de medición como estaciones totales, equipos GPS, así como el desarrollo de sistemas de cartografía computarizada, percepción remota, sistemas de información geográfica (GIS), etc., tienen como común denominador el necesario soporte en sistemas de referenciación geodésicos adecuados a su propia naturaleza, para que su ubicación espacial sea lo mas precisa y consistente posible.

Por lo anterior, México decidió cambiar el sistema geodésico de referencia NAD27, y adoptar el ITRF92 época 1988 (Diario oficial de la Federación, del día 27 de abril de 1998), compatible con la moderna tecnología de posicionamiento global, que sea capaz de satisfacer las necesidades y requerimientos de información geodésica precisa. En este sentido el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) implementó la Nueva Red Geodésica Nacional Activa (RGNA), constituida por 14 estaciones fijas distribuidas en el territorio nacional, cada una de estas estaciones cuenta con un receptor GPS de doble frecuencia, con un radio de cobertura de 500 km..

esta red tiene una precisión de orden A (1: 10 000 000), y graba información de los satélites GPS 23 hrs. al día, los 365 días del año, lo que permite que usuarios de equipos GPS puedan utilizar esta información para vincular sus levantamientos, mediante procesos diferenciales y así aumentar su precisión.

La tecnología GPS puede ser ampliamente utilizada en aplicaciones geológicas, que van desde permitirle al geólogo poderse ubicar en una carta topográfica de una manera fácil, rápida y precisa, o si realiza trabajos de exploración puede ubicar fácilmente algún rasgo geológico de interés como un contacto geológico, falla, zona de alteración, el sitio de la toma de muestra, por mencionar algunas. Un receptor GPS es una herramienta ideal para recolectar datos para los Sistemas de Información Geográfica (GIS). En el campo de la topografía y minería el uso de tecnología GPS esta desplazando a los métodos convencionales de medición con teodolito ó estación total, debido a su alta precisión, facilidad de manejo y otras ventajas. Cuando se requiere ubicar cruces sobre el terreno para trabajos de fotogrametría, o cuando se necesita ubicar puntos de control (P.C.) en catastro minero, la manera más precisa y fácil de realizar esto, es emplear receptores GPS. La gran precisión de la tecnología GPS que como se menciono esta basada en un sistema geodésico global, tridimensional y geocéntrico, permite que esta tecnología pueda ser empleada en estudios de deformación regional o global de la corteza terrestre y en efectos geodinámicos.

Estas y otras aplicaciones se describen mas ampliamente en el presente trabajo, que incluye las diferente precisiones que se pueden obtener utilizando equipos GPS, y dependiendo de la Precisión que se requiera, se hacen recomendaciones sobre el tipo de equipo GPS y programas a utilizar, así como del procedimiento a realizar, que involucra el método de levantamiento, procesamiento y ajuste de los datos. También se mencionan los lineamientos generales para un levantamiento GPS, y se ejemplifica con un levantamiento real.

2.- EL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)

1942
EL SABER DE MIS HIJOS
HARA MI GRANDEZA
BIBLIOTECA DE CIENCIAS
EXACTAS Y NATURALES

2.1.- Definición.

El Sistema de Posicionamiento Global GPS (Global Positioning System), fue desarrollado por el departamento de defensa de los Estados Unidos, como un recurso de posicionamiento y navegación mundial para uso militar y civil.

Este sistema esta basado en una constelación de 24 satélites que orbitan la tierra, estos satélites actúan como puntos de referencia para los receptores en la tierra, los cuales realizan una trilateración a los satélites, para conocer su posición. Esto es como una versión de alta tecnología de la vieja técnica de triangulación, de tomar el rumbo a los picos de las montañas cercanas y localizar un punto en el mapa.

Los satélites pueden actuar como puntos de referencia porque su posición instantánea es conocida con precisión, sus órbitas son constantemente monitoreadas por estaciones terrestres de control. Mediante la medición del tiempo de viaje de las señales transmitidas desde los satélites, un receptor puede calcular la distancia a cada satélite, y con la medición a 4 satélites diferentes y con la ayuda de un procesador matemático puede calcular su posición sobre la tierra en términos de latitud, longitud, y altura, inclusive si el receptor esta en movimiento, puede calcular su rumbo y velocidad a la que se desplaza, de hecho buenos receptores pueden calcular su posición mejor que 100 m. (generalmente es mucho mejor) y hacer esto en pocos minutos, esta precisión depende de muchos factores. Este error puede ser reducido hasta el orden de centímetros o inclusive milímetros, mediante el uso de técnicas diferenciales (DGPS).

El avance en el procesamiento de señales, ha permitido que señales débiles provenientes de los satélites puedan ser recibidas por pequeñas antenas, de manera que los receptores son cada vez más pequeños. Pero una de las cosas más importantes es que las señales GPS son gratis para cualquier usuario.

2.2.- El GPS esta compuesto por 3 segmentos. ¹

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS), consta de 3 segmentos, que son el segmento espacial, segmento de control y el segmento usuarios, los cuales se describen a continuación.

2.2.1.- Segmento espacial.

Compuesto por una constelación de 24 satélites, llamada NAVSTAR (Fig. 1), que orbitan la tierra, a una altura aproximada de 20 183 Km., estos satélites están distribuidos en 6 órbitas (4 satélites por órbita) uniformemente espaciadas a cada 60° de longitud aproximadamente, e inclinadas 45° con respecto al plano del ecuador, los satélites y tienen un periodo orbital de 12 hrs. (2 vueltas por día), para tener una máxima cobertura de la tierra, esto para asegurar que cualquier día, a cualquier hora, en cualquier parte de la tierra se tengan a la vista un mínimo de 4 satélites para que los receptores puedan calcular su posición.

¹ Tomado de: Reyes, I. M. A. 1994. Sistema de posicionamiento global. y Recopilación del autor.

BIBLIOTECA DEPTO.
DE GEOLOGIA

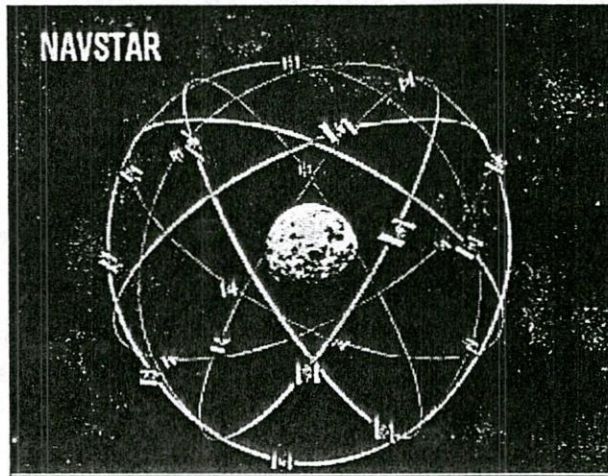


Figura 1.1 Constelación NAVSTAR

Cada satélite cuenta con 4 relojes atómicos, estos relojes usan las oscilaciones de un particular átomo, esta es la forma mas precisa de medición de tiempo hasta ahora desarrollada, cada reloj tiene un costo de 100 000 dólares.

2.2.2.- Segmento de control.²

Está compuesto por 5 estaciones de monitoreo ubicadas estratégicamente, cercanas al plano ecuatorial en: Hawaii, Isla Ascensión, Diego García, Kwajalein y la estación maestra de control en Colorado Springs, estas estaciones están a cargo del departamento de defensa de los U.S. y sus funciones son: El monitoreo constante de las órbitas de los satélites, computar órbitas pronosticadas, corregir el desfase de los relojes en los satélites, determinar los parámetros de retardo de la Ionósfera, checar el estado de salud de los satélites, y el control del sistema, información es transmitida a cada satélite diariamente.

2.2.3.- Segmento usuarios.³

Este lo conforman los receptores GPS, en la actualidad hay una gran variedad de equipos para muchas aplicaciones diferentes, por lo cual tienen diferentes características, capacidades, precisiones y tamaños. También existen varias compañías fabricantes, pero de manera general un equipo GPS consta de:

Antena.- Que se encarga de recibir las señales de los satélites, después la amplifica y la manda a la sección de radio-frecuencia, esta antena puede ser de tipo interna o externa.

Sección de radio-frecuencia.- Forma el corazón del receptor, después de que la señal entra por la antena, se identifican las señales mediante los códigos únicos de los satélites (códigos PRN), los

² Para mayor información ver: Cartula. S. 1987, Sistema de posicionamiento global GPS

³ Resumido de: Actualizaciones al procesamiento de la información geodesica. INEGI Octubre 1995.

elementos básicos de esta sección son osciladores que generan una frecuencia de referencia, filtros que eliminan frecuencias no deseadas y mezcladores. Una vez separada la información de cada satélite esta es mandada a los canales de recepción.

Microprocesador.- Controla el sistema y es el que calcula la posición, velocidad, dirección.

Memoria RAM.- Dispositivo en donde se almacenan los datos recolectados de los satélites.

Reloj.- Los receptores a diferencia de los satélites cuentan con un reloj de cuarzo, que son muy consistentes (precisos) en periodos cortos de tiempo y son sobre todo baratos, a diferencia de los relojes atómicos montados en los satélites.

Baterías.- Para el funcionamiento del receptor y almacenamiento de los datos, las cuales pueden ser recargables o normales.

El sistema GPS consta de 3 segmentos:

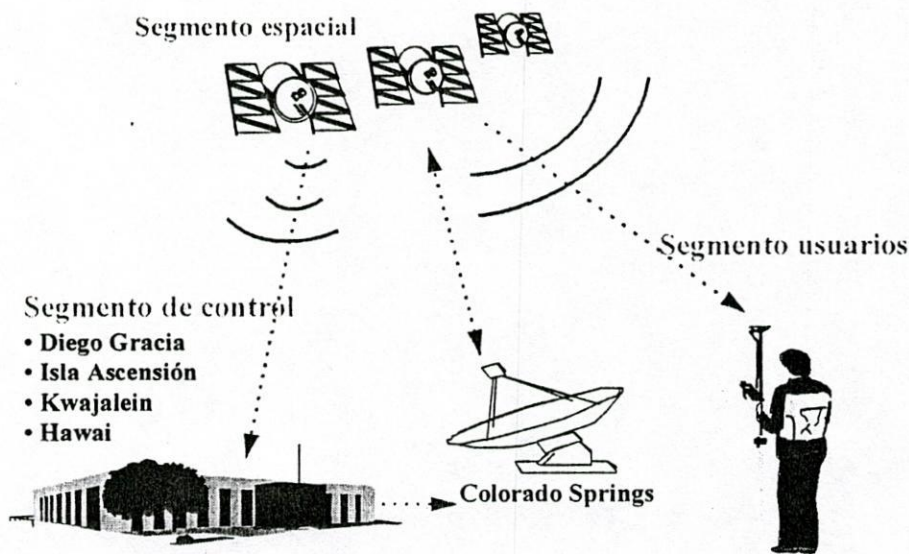


Figura 2.2 Los segmentos del GPS

BIBLIOTECA DEPTO.
DE GEOLOGIA.

2.3.- El Sistema Global de Navegación Satelitar (GLONASS).⁴

EL Sistema Global de Navegación Satelitar (GLONASS), es la contra parte de rusa del GPS. Aunque ambos son sistemas de posicionamiento global, solo al NAVSTAR se le refiere como GPS, debido a que este estuvo disponible en primera instancia. Ambos sistemas fueron concebidos para propósitos militares durante la guerra fría y aún son operados por autoridades militares, el sistema

⁴ Resumido y adecuado de: Leick, A. GPS, DGPS & GLONASS

NAVSTAR es propiedad de los estados unidos y es manejado por el Departamento de la Defensa, y el GLONASS es propiedad de la Federación Rusa.

Con tres lanzamientos realizados en 1994 y 1995, cada uno colocando en órbita tres satélites, la constelación GLONASS alcanzó los 24 satélites en operación en Enero de 1996. Desde entonces la constelación ha mantenido de 21 a 22 satélites trabajando. Estos satélites están distribuidos en tres planos orbitales (8 satélites por plano orbital), los cuales orbitan la tierra a una altura aproximada de 19 000 Km.

Ambos sistemas requieren de por lo menos 4 satélites para calcular su posición. La precisión del GPS es mejor que 20 m en el 95 % de las veces, pero disminuye por la "disponibilidad selectiva" (SA), hasta 100 m. La precisión de GLONASS es de 8 m. el 95 % de las veces y no esta intencionalmente degradada. Las correcciones diferenciales pueden ser aplicadas utilizando cualquier constelación, para obtener mejores precisiones. El primer receptor GPS de 24 canales está en el mercado (GG24 de Ashtech), y está diseñado para capturar la señal de ambas constelaciones de manera simultánea, asignando 12 canales para cada una. Utilizando esta combinación la precisión con GPS se puede mejorar hasta 7 m. el 95 % de las veces. (método autónomo).

3.- PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DEL GPS. ⁵

De manera general se pueden considerar 3 principios fundamentales en los que se basa el Sistema de Posicionamiento Global, que a continuación se detallan.

3.1.- Los satélites actúan como puntos de referencia.

Las posiciones instantáneas de los satélites son siempre conocidas con gran precisión, por que el movimiento orbital de los satélites es constantemente monitoreado por estaciones terrestres, estas posiciones instantáneas (x,y,z) dentro de un sistema cartesiano geocéntrico, son los puntos de referencia para los receptores en la Tierra.

3.2.- La distancia al satélite se obtiene midiendo el tiempo de viaje de la señal.

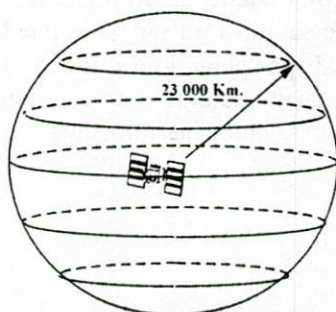
Midiendo el tiempo que le tomo a la señal viajar del satélite al receptor, se obtiene la distancia al satélite, para determinar este tiempo se emplean una serie de códigos especiales, que son transmitidos por cada satélite, el receptor en la Tierra puede determinar el momento preciso (en tiempo) en que el satélite transmitió el código y el tiempo cuando el código arriba a la antena del receptor, la diferencia es el tiempo que le tomo a la señal viajar del satélite al receptor, para calcular la distancia al satélite, el receptor multiplica el tiempo de viaje de la señal por la velocidad de la luz.

$$\text{DISTANCIA} = (T_{\text{viaje}}) (3 \times 10^{10} \text{ cm/seg.})$$

3.3.- Se necesitan cuatro satélites para calcular la posición.

Con la distancia a cuatro satélites diferentes, un receptor puede calcular su posición sobre la Tierra, para comprender mejor esto a continuación se ejemplifica con un ejemplo gráfico:

1).- Supongamos que un receptor determina que se encuentra a 23 000 km. de cierto satélite en particular, con una sola medición el receptor teóricamente podría estar en la superficie de una esfera imaginaria, con el satélite en el centro y un radio de 23 000 km. ver Fig. 3.1



El receptor estaría en cualquier parte de la superficie de esta esfera.

Figura 3.1

⁵ Resumido y modificado de: Hum. J. 1993. Differential GPS Explained., y Reyes. I. M. A. 1994. Sistema de posicionamiento global.

BIBLIOTECA DEPTO.
DE GEOLOGIA.

2).- Si se mide la distancia a un segundo satélite y se encuentra que esta es de por ejemplo 28 000 km. se tendrá una segunda esfera con un radio de 28 000 km., entonces el receptor se encontraría en cualquier parte del círculo formado por la intersección de las dos esferas. Ver Fig. 3.2

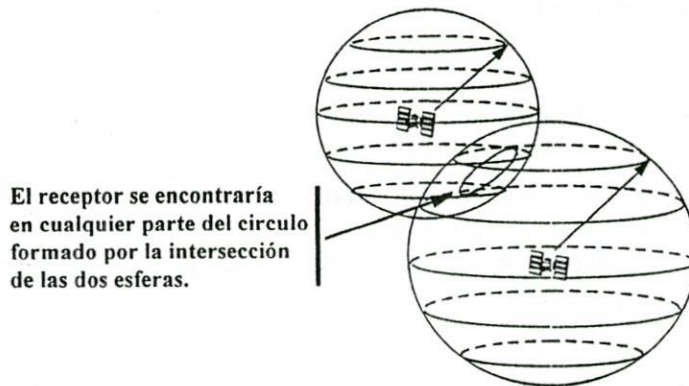


Figura 3.2

3).- Una tercera medición a un tercer satélite, adiciona una tercera esfera que se interceptará con el círculo formado por las otras dos, esta intersección ocurre como 2 puntos, y así con 3 distancias el receptor puede determinar su posición en 2 puntos. Ver Fig. 3.3

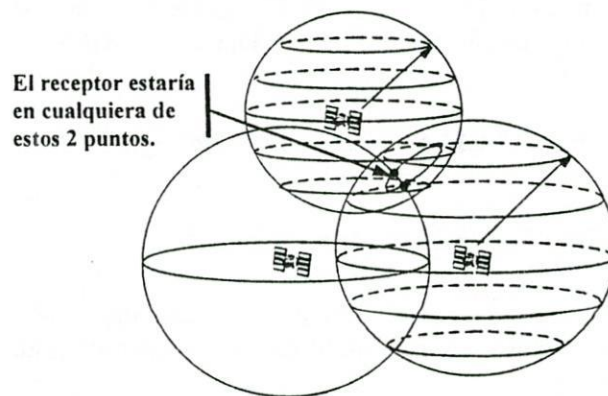
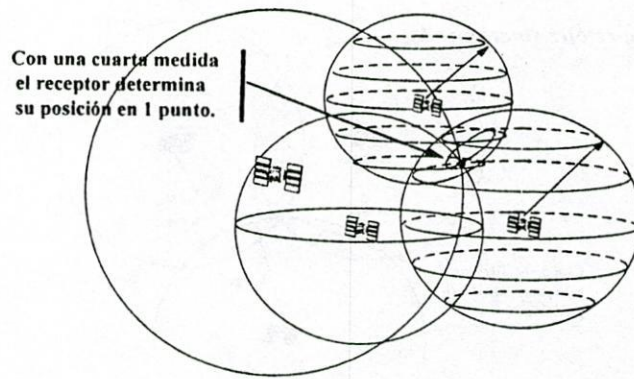


Figura 3.3

4).- Una cuarta medida de distancia a un cuarto satélite, adiciona una cuarta esfera que se interceptara en uno de estos 2 puntos, y así el receptor puede determinar su posición. (Ver Fig. 3.4). En la practica actual con 3 medidas a 3 diferente satélites un receptor puede calcular su posición porque uno de estos 2 puntos es irrazonable (irreal) por ejemplo a miles de kilómetros de la tierra, sin embargo hay otra razón para la medición a un cuarto satélite y es para tener la seguridad de que el reloj del receptor y el de los satélites están correctamente sincronizados.



Con una cuarta medida el receptor determina su posición en 1 punto.

Figura 3.4



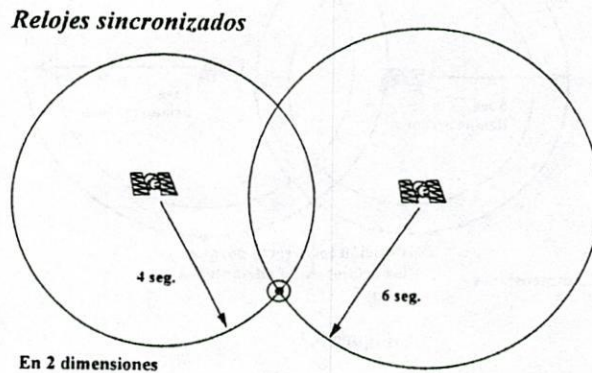
BIBLIOTECA DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

3.3.1.- Ejemplo en 2 dimensiones (2D).

Para entender mejor la necesidad de tener una medición a un cuarto satélite, para poder calcular la diferencia de sincronización entre los relojes de los satélites y el del receptor, veamos un ejemplo en 2 dimensiones (2D). En la realidad el tiempo de viaje la señal de 6 centésimas de segundo, por lo que los relojes montados en los receptores deben medir el tiempo con precisión de nanosegundos (0.000000001 seg.), para fines prácticos se usaran segundos.

Considerando una situación ideal, con los relojes perfectamente sincronizados y usando tiempo en vez de distancia.

1).- Supongamos que un receptor mide un tiempo de 4 seg. a un determinado satélite y 6 seg. a otro, con esto se puede determinar la posición en dos puntos, uno de los cuales es una solución ridícula, ver Fig. 3.5



En 2 dimensiones

Figura 3.5

BIBLIOTECA DEPTO. DE GEOLOGIA

2).- Con una tercera medición a un tercer satélite, de por ejemplo 8 seg., un tercer círculo se interceptara en uno de los dos puntos anteriores, y de esta manera con 3 satélites un receptor puede calcular su posición en 2D. Ver Fig. 3.6

Con relojes sincronizados

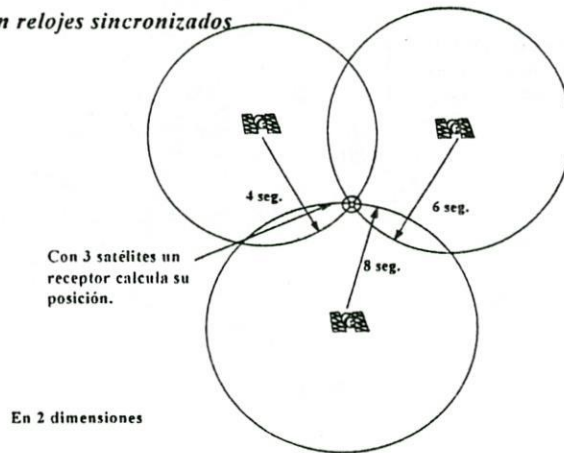


Figura 3.6

Pero en la realidad siempre existen errores de sincronización, supongamos que los relojes están desincronizados (adelantados 1 seg.).

1).- Tomando como base el ejemplo anterior, con dos medidas de 4 y 6 seg. a dos satélites particulares, y aun descartando la solución ridícula se puede observar que la posible posición es afectada grandemente. Ver Fig. 3.7

Con relojes adelantados 1 seg.

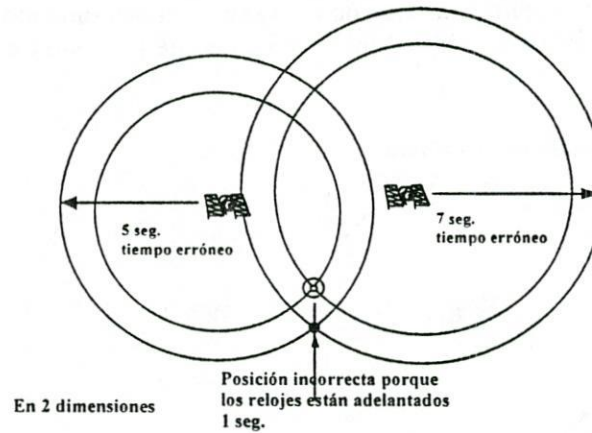
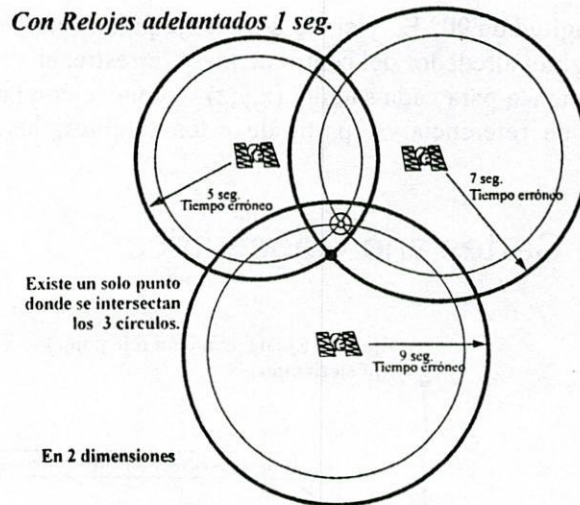


Figura 3.7

2).- Con una tercer medida con 1 seg. de adelanto, se tendrían múltiples intersecciones de 2 satélites, como lo muestra la figura, pero también se puede observar que existe un solo punto, donde las 3 medidas se interceptan, así un receptor necesita conocer la distancia a 3 satélites para determinar su posición en 2D, y resolver la incógnita tiempo. Ver Fig. 3.8



BIBLIOTECA DEPTO. DE GEOLOGIA

Figura 3.8

Lo que hace el receptor es dar una solución trigonométrica, restando o sumando la misma cantidad de tiempo a todas las mediciones hasta tener una solución única. En el ejemplo, el receptor asumiría que restando un segundo a las tres mediciones, los tres círculos se interceptaran en un solo punto y en consecuencia el reloj estaría adelantado 1 seg. Esto se logra por la solución algebraica de 3 ecuaciones con 3 incógnitas.

De esta forma se necesitan 3 satélites para conocer la posición en 2 dimensiones, y de la misma forma se necesitan 4 satélites para determinar una posición en 3 dimensiones, ósea se necesita resolver algebraicamente 4 ecuaciones con 4 incógnitas.

Resumiendo se necesita:

- 3 satélites para conocer posición en 2D (X, Y, tiempo).
- 4 satélites para conocer posición en 3D (X, Y, Z, tiempo).

Los receptores a partir de las coordenadas geodésicas calculada en el elipsoide de referencia (el GPS utiliza el elipsoide WGS84), los receptores o programas pueden calcular la posición en otro sistema geodésico de referencia, entre los más comunes están: NAD27, NAD83, y GRS80, lo anterior mediante un proceso de transformación para lo cual utilizan una serie de parámetros ya establecidos, cabe mencionar que estas coordenadas se pueden utilizar para aplicaciones de navegación o de cartografía poco precisa, pero para levantamientos de alta precisión se debe utilizar un elipsoide adecuado como el WGS84, GRS80, ó ITRF92, esto se discutirá mas adelante. Adicionalmente los receptores o programas pueden proporcionar varios tipos de proyecciones planas, la más común es la UTM.

3.4.- Calculo de coordenadas geodésicas.⁶

El GPS, esta basado en un sistema cartesiano geocéntrico, es decir el centro de masa de la tierra es el punto origen del sistema coordenado (0,0,0), el eje X esta sobre el plano del ecuador y corresponde a una longitud igual a 0°, (meridiano de Greenwich). El eje Y esta sobre el plano del

⁶ Información recabada de: Manual de conceptos básicos. INEGI. 1994. y Recopilación del autor. Información interna del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.

ecuador y corresponde a una longitud de 90° E, y el eje Z es el eje polar, (eje de rotación terrestre), ver Fig. 3.9. Los satélites GPS giran alrededor del centro de masa terrestre, en órbitas muy precisas, de manera que la posición instantánea para cada satélite (x,y,z) se conoce con precisión, así que los satélites actúan como puntos de referencia. A partir de estos satélites, los receptores pueden calcular su posición (x,y,z).

Sistema Cartesiano Geocéntrico

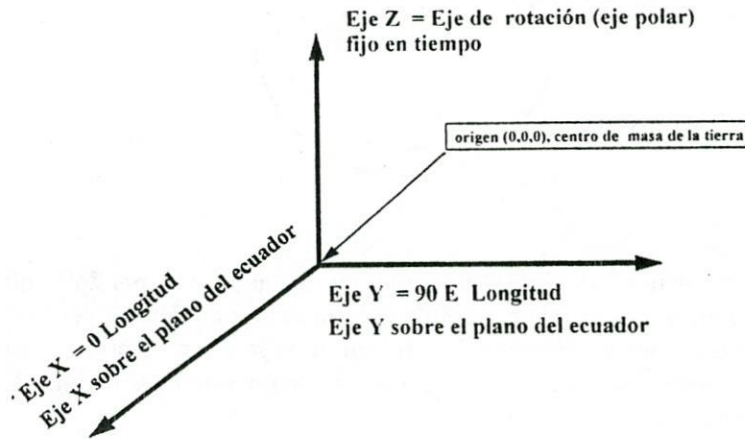


Figura 3.9

Si se rota una elipse sobre el eje Z se obtiene una elipse de revolución. Un elipsoide de manera general se define por: Semieje mayor, Semieje menor y un factor de achatamiento (Ver Fig. 3.10), con los elipsoides se tratan de representar el tamaño y forma de la tierra, existen muchos elipsoides, el GPS utiliza el elipsoide World Geodetic System 84 (WGS84).

Elipsoide

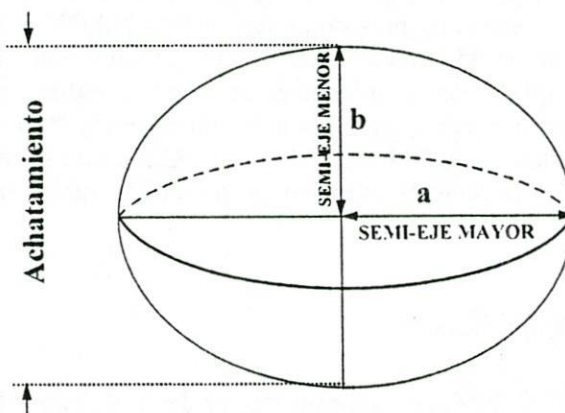


Figura 3.10

En base a estos elipsoides y a partir de la posición (x,y,z) , es posible obtener la posición en términos de Latitud, Longitud y Altura elipsoidal. A cada punto con coordenadas (x,y,z) le corresponde un único valor de Latitud, Longitud y Altura elipsoidal. Ver Fig. 3.11

Coordenadas Cartesianas y Geodésicas

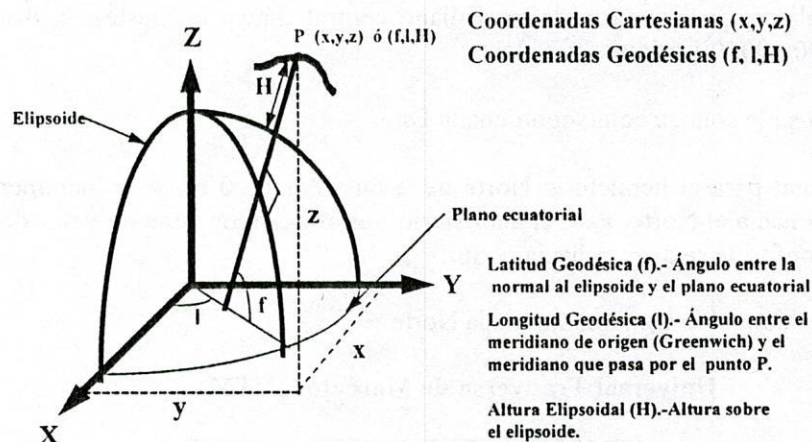


Figura 3.11

3.5.- Proyecciones.⁷

Siempre que se intenta representar a la Tierra (la cual tiene una forma aproximadamente esférica) sobre un plano, resulta obvio que es imposible hacerlo sin distorsión debido a la curvatura de la Tierra. Para resolver este problema, se utilizan las proyecciones que relacionan los puntos sobre la superficie de la tierra y los puntos dibujados sobre el mapa. Estas utilizan cuerpos geométricos (conos y cilindros, principalmente) para proyectar los puntos de la superficie terrestre a un plano. Varios tipos de proyecciones entre las más comunes tenemos:

a).- Proyección Universal Transversa de Mercator (UTM).

La Proyección Universal Transversa de Mercator, conocida como UTM, es una proyección de tipo cilíndrica, y es transversa debido a que el eje del cilindro es perpendicular al eje terrestre. Esta proyección es la más ampliamente usada en México por las instituciones cartográficas. El INEGI hace uso de esta proyección para la construcción de cartas a escala 1: 250 000 y 1: 50 000.

Para los fines de esta proyección, la Tierra se divide en 60 zonas, cada zona abarca 6° de longitud, también conocidas como Huso meridiano. Para cada huso se establece un meridiano central, ejemplo: la zona UTM 1, comprende de la longitud de 0° (meridiano de Greenwich) hasta el meridiano de 6° de longitud al Oeste de Greenwich, y esta controlada por el meridiano central de 3° de longitud al Oeste de Greenwich. La República Mexicana se ubica entre la zona UTM 11 y 16, las cuales están controladas por los meridianos centrales de 87° , 93° , 99° , 111° y 117° al Oeste de Greenwich respectivamente.

⁷ Tomado de: Manual de conceptos básicos. INEGI. 1994.

El origen de las mediciones de cada una de las 60 zonas es:

1).- Su meridiano central.- Al cual se le asigna un valor arbitrario de 500 000 m.

Si un punto se localiza a la derecha del meridiano central (hacia el Este), la distancia entre ambos, se le agrega en metros a 500 000. (aumenta su valor).

Si un punto se localiza a la izquierda del meridiano central (hacia el Oeste), la distancia entre ambos, se resta a 500 000. (disminuye su valor).

A este valor también se le conoce como coordenada Este.

2) El Ecuador, el cual para el hemisferio Norte tiene un valor de 0 m. y se incrementa su valor conforme se avanza hacia el Norte. Para el hemisferio Sur el Ecuador tiene un valor de 10 000 m., el cual disminuye conforme se avanza hacia el Sur.

Este valor también es conocido como coordenada Norte.

Universal Transversa de Mercator (UTM)

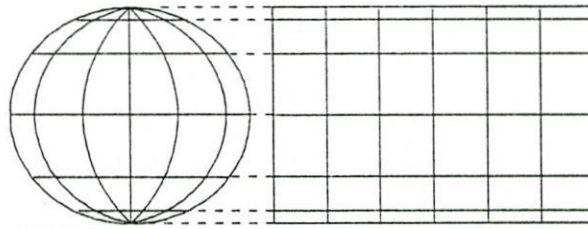


Figura 3.12

b).- Proyección Cónica Conforme de Lambert.

La proyección Cónica Conforme de Lambert es otro tipo de proyección empleado en el INEGI, esta Proyección se basa en un cono secante a la superficie de la Tierra, cuyo vértice coincide con la línea del eje de la Tierra, los planos en que corta a la Tierra se conocen como paralelos tipo, base o estándar y se utiliza para generar cartas de escala pequeña, que representan grandes porciones o la totalidad de la República Mexicana, escala 1:1 000 000.

Lambert

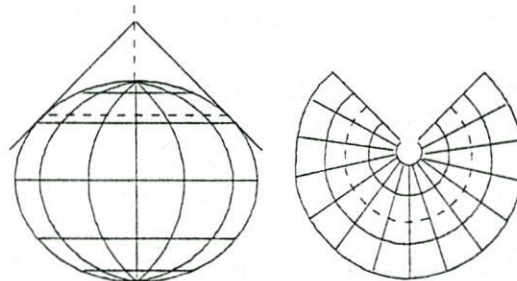


Figura 3.13

4.- SEÑALES DE LOS SATÉLITES.

Una de las claves de la exactitud del sistema GPS es el hecho de que todos los componentes de la señal son controlados por los relojes atómicos. Los osciladores en la tarjeta de los satélites generan una frecuencia fundamental que es de 10.23 Mhz., y tienen una estabilidad en el rango de 10^{-13} seg. en un día. A partir de esta frecuencia se generan 2 ondas portadoras (carriers), las denominadas L1 y L2, que se obtienen de multiplicar la frecuencia fundamental por 154 y 120.⁸

Banda	Frecuencia	Longitud de onda
L1	1575.42 Mhz.	19 cm.
L2	1227.60 Mhz.	24 cm.

Tabla 4.1

Sobre estas carriers se modulan varios códigos e información como los parámetros orbitales (efemérides), que a continuación se describen:

4.1.- Código C/A.⁹

El código C/A (Coarse-Adquisition), de adquisición burda o también llamado estándar, es un código binario que tiene un patrón muy complejo, este patrón de hecho es tan complejo que casi parece al azar, de echo es llamado "pseudo random code" (código pseudo aleatorio), o también llamado PRN (pseudo random noise), cada satélite tiene su propio y único código PRN, esta es la forma con la que el receptor puede reconocer con cuales satélites esta trabajando. Los satélites continuamente transmiten este patrón, que tiene una frecuencia de una décima parte de la frecuencia fundamental, mas o menos de 1 Mhz. y una longitud de onda de aprox. 300 m., el cual es repetido cada milisegundo (1/1000 seg.).

El código C/A es modulado en la banda L1 y omitido a propósito en la L2, esto para negar una mejor exactitud del sistema.

4.2.- Código P.¹⁰

Designado como el servicio de posicionamiento preciso, el cual ha sido reservado para uso de los militares y de otros usuarios autorizados, tiene una frecuencia igual a la frecuencia fundamental, que es de 10.23 Mhz. y con una longitud de onda de aproximadamente 30 m., modulado en ambas portadoras (L1 y L2), el cual es repetido cada 267 días, 9 hrs., 45' 55.5", y contiene un total de 235 469 592 765 000 bits.

⁸ Tomado y adecuado de: Actualizaciones al Procesamiento y ajuste de Información GPS. Dirección de cartografía Catastral. INEGI. Octubre, 1995.

⁹ Tomado de: Hum. J. 1993. Differential GPS Explained. Trimble Navigation Limited.

¹⁰ Recopilación del autor. Información interna del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.

4.3.- Código Y. ¹¹

El código Y es el código P pero encriptado, esto es, al código P original + un código especial para encriptarlo llamado código W. Cuando el código Y está activado es lo que se conoce como antiengaño (Anti-Spoofing ó AS), y está diseñado para dejar inaccesible el código P (preciso) a la mayoría de usuarios civiles de GPS, a menos que estén equipados con un dispositivo descodificador o "llave", que solo U. S., las fuerzas militares aliadas y un grupo muy selecto de usuarios civiles autorizados tienen acceso a estos módulos de seguridad. Entre las compañías que cuentan con equipos capaces de descryptar el código Y, para obtener el código P, se encuentran Ashtech y Trimble.

Desde el 31 de enero de 1994, se implementó de manera permanente el Anti-Spoofing, y de acuerdo con las políticas del Departamento de Defensa Norteamericano en materia de seguridad sobre GPS, no se hizo anuncio previo sobre la fecha de implementación.

4.4.- Mensaje de navegación. ¹²

El mensaje de navegación contiene variada información sobre los satélites como: parámetros de corrección de los relojes, las órbitas y sus correcciones, estado de salud, y otro tipo de correcciones. El mensaje consta de 1500 bits subdividido en 5 bloques, es modulado a una frecuencia de 50 Hz., y es transmitido en 30 seg.

El primer bloque contiene los coeficientes para un polinomio cuadrático para modelar la corrección del reloj, y indicadores de edad "AGE" de los datos; el segundo y tercer bloque contienen las efemérides del satélite; el cuarto bloque contiene información de la Ionosfera, datos UTC, e información para uso militar; el quinto bloque contiene el almanaque y estado de salud de los satélites.

Existen 2 tipos de efemérides:

1) *Efemérides transmitidas (broadcast).*- Basadas en las observaciones de las 5 estaciones de monitoreo del segmento de control, las cuales se encargan de *predecir* las órbitas de los satélites, estas efemérides son enviadas a los satélites y estos a su vez los transmiten al segmento usuarios.

2) *Efemérides precisas.*- Están basadas sobre los datos observados del movimiento orbital *real* que tuvieron los satélites, las cuales están disponibles algunas semanas después de la colecta de datos. Como se ha mencionado el conocer con exactitud la posición de los satélites (que son los puntos de referencia) en un determinado periodo de tiempo, se traduce en una mejor exactitud del cálculo de la posición, de hecho levantamientos de alta precisión requieren forzosamente utilizar efemérides precisas.

Almanaque.- El almanaque es un tipo de efemérides menos precisas, el cual está incluido en las efemérides, este se utiliza para propósitos de planeación, es decir es un insumo para los programas

¹¹ Tomado de: Actualizaciones al procesamiento de la información geodésica. INEGI Octubre 1995.

¹² Resumido y adecuado de: Actualizaciones al procesamiento de la información geodésica. INEGI Octubre 1995. Y Recopilación del autor, Información interna del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.

de planeación como el Mission Planning de Ashtech (Ver 5.8.- Dilución de la Precisión de la Posición), que genera gráficas de valores de PDOP y visibilidad de satélites.

4.5.- Sumario de frecuencias

Frecuencia	Relación	MHz.	Longitud de Onda
Frecuencia fundamental (Fo)	1 (Fo)	10,23	30 m.
Portadora L1 (carrier)	154 (Fo)	1575,42	19 cm.
Portadora L2 (carrier)	120 (Fo)	1227,6	24,4 cm.
Código P	1 (Fo)	10,23	30 m.
Código C/A	Fo/10	1,023	300 m.
Mensaje de navegación	Fo/204600	50 X 10 ⁻⁶	

Tabla 4.2

4.6.- Tipos de receptores.

Existen en la actualidad una gran diversidad de receptores GPS, pero de manera se puede clasificar a los receptores dependiendo de las frecuencias (señales) que son capaces de captar, así se tienen 5 tipos de receptores. Ver tabla 4.3.

Tipo	captan	L1			L2	
		C/A	Carrier	P1	Carrier	P2
1	código C/A	*				
2	Carrier y código C/A en L1	*	*			
3	Carrier en L1 y L2 y código C/A	*	*		*	
4	Código P	*	*	*	*	*
5	Código Y	*	*	*	*	*

Tabla 4.3

Los equipos del tipo 1, son en su mayoría equipos portátiles, para posicionamientos autónomos, con los que se pueden obtener precisiones del orden de 10 a 30 m., y hasta 100 m., con la SA activa. Algunos de estos equipos tienen posibilidad de realizar procesamientos diferenciales (DGPS) y mejorar su precisión a un par de metros.

Los equipos del tipo 2 al 5, son equipos denominados geodésicos y se utilizan para levantamientos de alta precisión, estos levantamientos además de los equipos utilizan adicionalmente: programas especiales y métodos de medición específicos, que combinados pueden dar precisiones del orden centímetros a milímetros. Y como cabe imaginar estos equipos y programas entre mas frecuencias (señales) captan, y son capaces de procesar, más caros son.

5.- FUENTES DE ERROR DEL GPS.

Si la tierra fuera un laboratorio con condiciones perfectas, el GPS sería mucho más exacto. Desafortunadamente hay una abundancia de factores naturales, tecnológicos y humanos que afectan su precisión, como los que a continuación se describen:

5.1.- Errores en los relojes de los Satélites.¹³

La medición del tiempo es crítico para el GPS, porque con la precisión con que se mida el tiempo de viaje de la señal, depende la precisión del cálculo de la distancia a los satélites, y estas distancias determinan la precisión del cálculo de la posición, por esta razón todas las señales que emiten los satélites están controladas por relojes atómicos, cada satélite esta equipado con 4 relojes, 2 de Rubidio y 2 de Cesio, los cuales son muy precisos. Ver tabla 5.1.

Tipo de reloj	Tiempo en que se retrasa 1 seg.
Cristal de Cuarzo	30 Años
Rubidio	30, 000 Años
Cesio	300, 000 Años
Hidrogeno	3, 000, 000 Años.

Tabla 5.1

Pero por muy buenos que sean estos relojes, no son perfectos, pequeñas inexactitudes en sus cronómetros pueden finalmente conducir a imprecisiones en el cálculo de la posición. El segmento de Control, también cuenta con relojes atómicos y es el encargado de checar que los relojes de los satélites estén funcionando correctamente y estén sincronizados.

5.2.- Errores en las órbitas de los satélites.

La posición de los satélites en el espacio también es importante, por que estos son los puntos referencia para todos los cálculos. Los satélites GPS están moviéndose en órbitas muy altas y así están relativamente libres de los efectos perturbantes de la atmósfera, pero aun así, ellos tienen pequeñas variaciones con respecto a sus órbitas predeterminadas y esto contribuye a un error en el cálculo de la posición. Por tal motivo el Segmento de Control monitorea las órbitas de los satélites y corrige los errores que se presentan, para mantener el sistema en optimas condiciones.

5.3.- Errores atmosféricos.¹⁴

Los satélites GPS transmiten su información por radio, y esta es otra fuente de error, por que las señales de radio al atravesar la atmósfera terrestre (Troposfera, Ionosfera), no se comportan

¹³ Recopilación del autor. Información interna del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.

¹⁴ Para mayor información consultar Hum. J. 1993. Diferencial GPS Explained. Y Reyes. I. M. A. 1994. Sistema de posicionamiento global. Una visión Simplificada.

predesiblemente. Los conocimientos de física conducen a creer, que las señales de radio viajan a la velocidad de la luz, pero la mala nueva es que la velocidad de la luz no es una constante, es constante solamente en el vacío. En el mundo real la luz (o las ondas de radio) viajan mas lento dependiendo de lo que atraviesan.

Así que la señal GPS sufre un retardo (se refracta), al atravesar las partículas cargadas de la Ionosfera y el vapor de agua de la Troposfera. En los cálculos de distancia se asume una velocidad de la luz constante, este retardo en la señal provoca un error en los cálculos de la distancia a los satélites y finalmente esto produce un error en la posición.

Buenos receptores adicionan un factor de corrección, para un viaje típico a través de la atmósfera, que ayuda a minimizar este error, pero como la atmósfera varia de punto a punto y de momento a momento, ningún factor de corrección o modelo atmosférico puede compensar exactamente el retardo, que ocurre en un momento determinado.

Para modelar correctamente este retardo se necesitan equipos de doble frecuencia. Esto se basa en un principio físico, que menciona que la disminución en la velocidad de la señal (retardo), es inversamente proporcional a su frecuencia al cuadrado. De esta manera si se compara el tiempo de llegada de dos partes de señal, que tienen diferente frecuencia, se puede determinar que clase de cambio de velocidad (retardo) ha ocurrido, y con esto hacer las correcciones a las observaciones. Este tipo de corrección ionosférica debe ser realizada cuando se miden vectores (líneas base) mayores de 40 Km.

5.4.- Error del receptor.

Los receptores tampoco son perfectos, estos pueden introducir sus propios errores producidos por su reloj, el cual es generalmente de cuarzo, a diferencia de los atómicos de los satélites, los relojes de cuarzo son consistentemente precisos en intervalos cortos de tiempo. Otra fuente de error es provocada por ruido interno del propio receptor.

5.5.- Error de multicamino (Multipath).¹⁵

Cuando la señal GPS finalmente arriba a la superficie terrestre, esta puede ser reflejada por obstrucciones locales antes de que esta llegue a la antena del receptor. Esta forma de error es llamada error de multicamino ó (Multipath), por que en esencia la señal llega a la antena por múltiples caminos. La antena primero recibe la señal directa porque la ruta directa es siempre más rápida, y las señales reflejadas arriban un poco mas tarde. Estas señales retardadas pueden interferir con la señal directa, proporcionándote resultados ruidosos.

Un ejemplo de error de multipath en la vida cotidiana, es el fantasma en la T.V. cuando se observan múltiples imágenes en la pantalla, esto se debe a que la antena recibe varias señales, una directa de la estación de T.V., y otras que han tomado mas de un camino para llegar a la antena (reflejadas por obstrucciones cercanas, como edificios), esto provoca que se observen varias imágenes sobrepuestas. Este mismo fenómeno afecta a las mediciones GPS, los receptores modernos usan avanzadas técnicas de procesamiento de señales y antenas especiales para minimizar este problema, pero la recomendación es evitar como sea posible las superficies reflejantes cercanas al receptor.

¹⁵ Adecuado de: Hum, J. 1993. Differential GPS Explained.

BIBLIOTECA DEPTO.
DE GEOLOGIA



EL SABER DE MIS HIJOS
HARA MI GRANDEZA

BIBLIOTECA
DE CIENCIAS EXACTAS
Y NATURALES

BIBLIOTECA DEPTO.
DE GEOLOGIA

5.6.- Disponibilidad Selectiva (SA).¹⁶

Pero peor que cualquiera de estas fuentes de error naturales, un error intencional es enviado por el Departamento de la Defensa de los U. S. (DoD), bajo el nombre político de "Selective Availability" o "SA" y el objeto de esto, es asegurarse que fuerzas hostiles no usen la exactitud del GPS, contra los U. S. o sus aliados.

Bajo el SA, el DoD introduce ruido (errores) en los relojes de los satélites y/o pequeños errores en las órbitas de los satélites, la cual será transmitida de regreso como parte del mensaje de efemérides de cada satélite. Estos 2 factores pueden sumarse para obtener una reducción significativa en la precisión del calculo de la posición. Usando un canal civil de GPS (código C/A), un receptor estático y con la SA activa puede tener un error en posición de hasta 100 m. el 95 % de las veces, y hasta 300 m. el 5 % e las veces.

Receptores militares tienen una llave para descryptar, los errores que han sido introducidos, y eliminarlos, así para usuarios militares el sistema GPS es mucho más preciso, probablemente capaz de proporcionar precisiones del orden de 15 metros.

5.7.- Anti-spoofing (AS).¹⁷

Esta es otra fuente de error intencional por parte del departamento de defensa de los U.S., que tiene la habilidad de apagar o desactivar el código P, o invocar un código encriptado denominado Y, como un medio para negar el acceso al código P, a todos los usuarios no autorizados. El AS afecta a los levantamientos de alta precisión. Varios fabricantes de receptores han introducidos equipo y programas diseñados para recuperar el código P, pero éstos aún no pueden ser usados en aplicaciones dinámicas.

5.8.- Dilución de la Precisión de la Posición (PDOP).¹⁸

La geometría de la posición que guardan los satélites entre sí, impacta la precisión de la posición. Satélites bien espaciados en el cielo proporcionarían una mejor precisión en la posición, mientras que satélites poco espaciados proporcionan una pobre precisión. El PDOP (Position Dilution of Precision), es un indicador usado para describir la geometría de los satélites, este tiene valores que van de 1 para una buena geometría, hasta infinito para una pobre geometría. Es recomendable que nunca se colecten datos con un PDOP mayor de 6, entre menor sea el valor del PDOP es mejor. Ver Apéndice A.

La mejor geometría posible de los satélites sería tener un mínimo 4 satélites espaciados a 90 ° uno del otro (en el plano horizontal), con respecto al receptor, y a 45 ° sobre el horizonte.

La dilución de la precisión (PDOP) es el promedio del HDOP, VDOP y TDOP.

¹⁶ Tomado de: Hum, J. 1989. A Guide to the Next Utility. Trimble Navigation Limited.

¹⁷ Resumido de: Actualizaciones al procesamiento de la información geodesica. INEGI Octubre 1995.

¹⁸ Para una explicación más amplia se recomienda consultar:

Hum, J. 1989. A Guide to the Next Utility. Trimble Navigation Limited.

Recopilación del autor. Información interna del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.

<http://www.trimble.com/gps>

PDOP.- Dilución de la precisión de la posición.
HDOP.- Dilución horizontal de la precisión.
VDOP.- Dilución vertical de la precisión.
TDOP.- Dilución de la precisión en Tiempo.

Para entender esto mas claramente, supongamos que un receptor esta a 4 seg. de un satélite, y a 6 seg. de otro satélite, pero este tiempo es incierto por una pequeña cantidad de tiempo (ver Fig. 5.2), estos satélites se encuentran bien espaciados en el cielo, de manera que la posible posición estaría representada por la siguiente área:

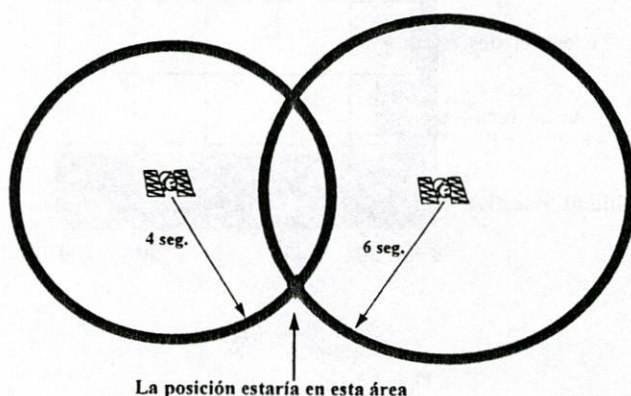


Figura 5.2

Pero si los satélites están próximos, el área de la posible posición, es más grande, y esto hace que sea más difícil definir la posición. Ver fig. 5.3

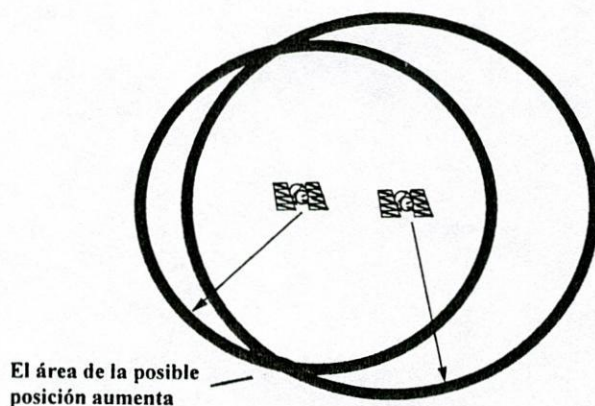


Figura 5.4

Para resolver este problema se debe utilizar un programa para determinar la mejor ventana de medición, esta se calcula para un lugar y día determinados. Se le llama ventana de medición al intervalo de tiempo donde el PDOP es menor de 5 y existe un mínimo de 4 satélites. Existen varios programas para calcular esto, cada marca tiene el suyo, entre los más comunes se tiene: Mission planning de Ashtech y Quick Plan de Trimble. Un ejemplo de esto se puede observar en el apéndice A.

BIBLIOTECA DEPTO.
DE GEOLOGIA

5.9.- Sumario de fuentes de error GPS.

La siguiente gráfica de barras muestra la magnitud de las diferentes clases de errores a los cuales es susceptible el GPS, como se observa el mayor error es producido cuando la SA esta activa.

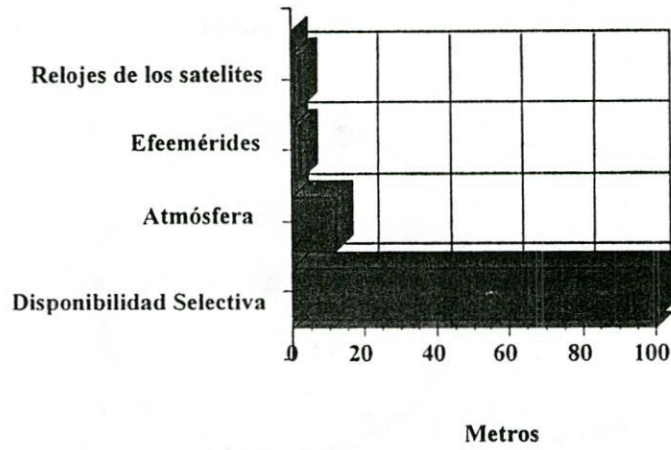


Figura 5.4

6.- DIFERENCIAL GPS (DGPS).¹⁹

Antes de definir que es un diferencial GPS y como funciona, se debe aclarar que las técnicas diferenciales, pueden empleadas utilizando diferentes tipos de equipos, para obtener precisiones relativas del orden de metros, centímetros o hasta milímetros. A continuación se explica como funciona un DGPS con equipos del tipo 1, que solamente captan código C/A con los cuales es posible obtener precisiones relativas del orden de 1 a 2 metros. Los levantamientos geodésicos de alta precisión también emplean técnicas diferenciales para obtener posiciones relativas del orden de centímetros, o milímetros, para esto emplean equipos de tipo 2, 3, 4, o 5, capaces de captar la fase portadora (carrier), en una banda o en ambas, y algunos adicionalmente captan el código preciso (P), para obtener este tipo de precisiones es necesario utilizar métodos de levantamiento predeterminados (ver capítulo 7.- Métodos de levantamiento) y procesos diferenciales más sofisticados, para lo cual se utilizan programas especiales.

6.1.- Definición.

Un diferencial GPS (DGPS) es una forma de obtener una mayor precisión, mediante la cancelación de los errores naturales como: errores en los relojes de los satélites, órbitas imperfectas, el retardo que la señal experimenta en su viaje a través de la atmósfera (Ionósfera y Troposfera); y de los errores artificiales producidos por el hombre, como la Disponibilidad Selectiva (SA). Estas imprecisiones son variables (cambian de momento a momento), es difícil predecir de que magnitud serán estas, para así poder corregir las observaciones que toma (o graba) el receptor GPS, es decir se necesita una forma de medición de errores como forme estos se vayan presentando. El secreto para hacer esto es involucrar 2 receptores GPS, se coloca un receptor (de referencia) sobre un punto del cual se conoce su posición con gran precisión, y se deja ahí tomando medidas durante todo el tiempo que dure el levantamiento, este receptor calcula su posición mediante los datos de los satélites y la compara con la posición conocida, la diferencia (por eso el término diferencial) es el error en la señal GPS, el receptor base entonces calcula las correcciones, las cuales puede enviarlas (vía radio-enlace) a un segundo receptor para que este corrija su posición (ha esto se le conoce como DGPS en Tiempo-real), o bien puede grabar estas correcciones para posteriormente en gabinete (utilizando una computadora) corregir los puntos posicionados por el segundo receptor (ha esto se le llama Post-Proceso).

Resumiendo, como los errores están constantemente cambiando, no se pueden utilizar estas diferencias (correcciones) para corregir otras mediciones en horas o días posteriores, de manera que se tiene que tener 2 receptores midiendo simultáneamente a los mismos satélites para realizar un DGPS. A continuación se describe mas ampliamente lo anterior.

6.2.- El problema.

Los receptores GPS usan señales de tiempo, las cuales pueden tener errores aun antes de que inicien su viaje hacia la Tierra, como errores en los relojes, y órbitas de los satélites, además de la Disponibilidad Selectiva, después la señal en su viaje hacia la tierra es refractada (retardada) y finalmente la señal es reflejada por obstrucciones locales al sitio particular de medición (errores de

¹⁹ Los principios de funcionamiento de fueron tomados y adecuados de: Hum 1993, Differential GPS Explained. Y Reyes, I. M. A. 1994. Sistema de posicionamiento global. Una visión Simplificada.

BIBLIOTECA
DE GEOLOGIA

multicamino), todos estos errores sumados afectan grandemente la precisión del cálculo de la posición.

6.3.- La Solución.

Aquí es donde la escala del sistema viene al rescate, los satélites están muy lejos en el espacio (aprox. 20 000 km.), y las distancias que se miden sobre la tierra son pequeñas con respecto a la distancia a los satélites. Esto significa que si dos receptores están cerca uno del otro (pocos kilómetros), la señal que llega a ambos, viajó (atravesó) la misma rebanada de la atmósfera, y virtualmente la señal tiene el mismo retardo. De hecho la mayoría de los errores, excluyendo los de multicamino y los propios del receptor, serán comunes para ambos receptores.

Entonces como ambos receptores tendrán los mismos errores, se puede tener un receptor midiendo estos errores y proveerle esta información (correcciones), al otro receptor para que este corrija su posición.

6.3.1.- Medición de errores en el receptor de referencia.

Se coloca un receptor (de referencia), en un punto que haya sido posicionado con anterioridad y que se conozca su posición con una alta precisión. El receptor de referencia recibe las mismas señales de GPS, que el receptor móvil, pero en lugar de trabajar como normalmente lo hace, hace los cálculos a la inversa. Es decir en lugar de usar el tiempo de viaje de las señales para calcular la distancia a los satélites y obtener su posición, este usa la posición conocida para calcular el tiempo de viaje de la señal. Esto es, como el receptor de referencia conoce la posición de los satélites en el espacio (mediante sus efemérides), y conoce exactamente donde está posicionado, este puede calcular teóricamente la distancia entre él y cada satélite, entonces divide la distancia entre la velocidad de la luz y obtiene el tiempo teórico de viaje de la señal, es decir que tanto tiempo debería de tardar la señal en viajar del satélite al receptor. Entonces compara el tiempo teórico con el tiempo real que le tomo a la señal viajar, la diferencia es el error (retardo) en la señal de los satélites.

6.3.2.- Envío de correcciones a receptores alternativos.

El receptor de referencia puede proporcionar estas correcciones a cualquier receptor alternativo, móvil o estacionario que se encuentre en el área de trabajo, para que puedan usar esta información y corregir sus mediciones. Una vez que el receptor de referencia calcula los errores para todos los satélites disponibles, este codifica esta información en un formato estándar y la transmite a los receptores alternativos (rovers). Actualmente los receptores no pueden transmitir por sí mismos esta información, por que no contienen transmisores de radio, así que el receptor envía esta información a un equipo de radio independiente, para que este envíe la información.

El receptor de referencia transmitirá algo como esto: la señal del satélite # 5 tiene 10 nanosegundos de retardo, el satélite # 8 tiene 3 nanosegundos de retardo, el satélite # 28 tiene 16 nanosegundos de retardo, el satélite #31 tiene 8 nanosegundos de adelanto y así sucesivamente. Los receptores alternativos reciben la lista completa de errores y aplican las correcciones para los satélites que particularmente están usando. El receptor de referencia no solamente envía la corrección para cada satélite, además transmite una razón de cambio (ratio), para estos errores, de manera que el receptor móvil pueda interpolar su posición hasta que el receptor de referencia se la actualice nuevamente.

Esta información puede ser transmitida por numerosas técnicas, lo más común es por radio-enlace; existe un estándar internacional para el envío y recepción de correcciones GPS, llamado el protocolo RTCM SC-104, creado por Radio Technical Commission for Maritime - special committee 104.

Existe un problema que tiene que ver con la velocidad de transmisión de datos, el receptor de referencia no puede perder mucho tiempo para mandar las correcciones, porque si este espera mucho tiempo, las correcciones no serán precisas, porque los errores están cambiando constantemente. Algunos transmisores de radio, operan a velocidades de menos de 50 baudios (bits por segundo) esto significa que les puede tomar mas de 10 seg. para transmitir las correcciones para todos los satélites visibles. Se ha demostrado que actualizando los errores cada 5 seg. es mucho mejor, especialmente si la (SA) esta activa. Muchas agencias oficiales quienes usan DGPS están probando con transmisores de altas velocidades y algunas compañías como Trimble ofrecen receptores con rangos de velocidad (en baudios) programables.

6.3.3.- *Post-Proceso.*

Pero no todas las aplicaciones necesitan esta comunicación por radio, porque algunos trabajos no requieren correcciones en "Tiempo-Real", por ejemplo, si se desea medir la posición de un barreno sobre la superficie, delimitar una propiedad, levantar un nuevo camino para posteriormente trazarlo sobre un mapa, y en general para cualquier levantamiento estático. Para este tipo de aplicaciones el receptor móvil solamente tiene grabar las mediciones de su posición y el tiempo exacto en que fue hecha cada una de estas, entonces posteriormente estos datos pueden ser procesados con los datos del receptor de referencia, para corregir su posición. Esto es conocido como Post-Proceso.

Existe una variación de este método, llamado DGPS invertido, este ha tenido mucha utilidad en aplicaciones de vehículos en movimiento, estos vehículos están equipados con receptores GPS, estos calculan su posición *cruda*, y la envían periódicamente a una estación base (referencia), la cual corrige la posición de los vehículos, de manera que los vehículos solamente conocerán su posición cruda (sin corrección), pero el despachador en la base conocerá con precisión la posición de cada uno de los vehículos, así el despachador puede mandar a los vehículos que están más cerca de una área de interés, por ejemplo esto esta siendo utilizado en los Estados Unidos por los servicios de policía, bomberos, 911, en compañías repartidoras de comida rápida, aseguradoras, compañías de transporte, etc.

6.3.4.- *Utilización de los códigos (C/A, P).*

Como se recordará los satélites transmiten información de tiempo (códigos), que permiten al receptor calcular su distancia a los satélites y finalmente conocer su posición sobre la Tierra. Hablando más precisamente en realidad lo que el receptor obtiene son pseudodistancias a los satélites, se les llama pseudodistancias porque no son exactas, ya que están afectadas por varios tipos de errores como: error de sincronía en los relojes, errores en las órbitas, y retardos producidos por la atmósfera. Estas pseudodistancias son calculadas mediante los códigos (C/A ó P), que los satélites transmiten específicamente para esto. El método es esencialmente el mismo para ambos códigos, a continuación se describe la forma en que un receptor utiliza el código C/A (también llamado PRN) para calcular estas pseudodistancias.

Cada satélite transmite su propio y único código PRN (en base ha este el receptor identifica con cuales satélites esta trabajando), además internamente el receptor tiene una copia de todos los códigos PRN, y sabe en momento exacto (en tiempo) en cada satélite empieza a transmitirlo. Así desde el momento en que la señal es recibida en la antena, el receptor genera una copia del código PRN, (esto para cada satélite), que no es igual al menos que este correctamente sincronizado con el código que recibe del satélite, entonces el receptor desliza su código en tiempo para alinearlos perfectamente con el código recibido del satélite, la cantidad en tiempo que el receptor debe de mover este patrón hacia atrás, desde el tiempo de transmisión conocido, es el tiempo que le tomo viajar a la señal del satélite al receptor; y con este tiempo calcular la pseudodistancia al satélite. Ver Fig. 6.1

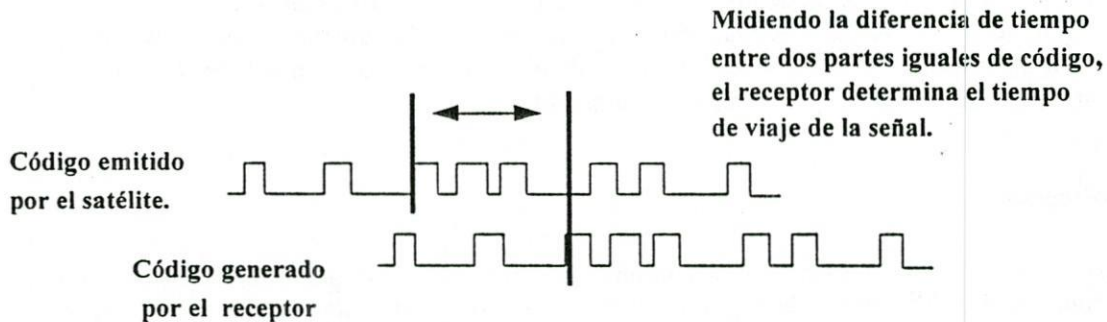


Figura 6.1

El problema de la precisión del código C/A, es que los bits, son tan anchos, que aun si se hiciera coincidir estos casi perfectamente, se podría finalizar con unos pocos metros de error. Todos los receptores de código C/A, usan una función de correlación para obtener un buen porcentaje de sincronía perfecta (o perfectamente en fase) para el código C/A.

Esto debido a que los bits en el código C/A tienen un microsegundo de ancho, (frecuencia de 1 MHz.) y a la velocidad de la luz un microsegundo traslada un error de 300 metros, ósea aun si se estuviera dentro de un 1 % de error en sincronía, se esperaría un error de aproximadamente 3 metros. Y esto significa que aun si se pudieran eliminar todas las otras fuentes de error con las técnicas diferenciales, no se podría obtener una precisión mejor que un par de metros.

El código P tiene una frecuencia 10 veces mayor que el código C/A, aproximadamente 10 Mhz, es decir es diez veces más preciso que el código C/A. El código P es utilizado en receptores militares portátiles, que son capaces de proporcionar una precisión de menos de 12 m. para un posicionamiento autónomo, y con correcciones diferenciales (utilizando solamente el código P), se pueden obtener precisiones del orden de 30 cm.

6.3.5.- Utilización de la fase portadora (carrier).²⁰

Uno puede estar enterado que geodestas y topógrafos, en años recientes han realizado levantamientos con equipos GPS extremadamente precisos, que pueden determinar posiciones relativas con precisiones de milímetros.

²⁰ Información obtenida de: Actualizaciones al Procesamiento y ajuste de Información GPS. Dirección de cartografía Catastral. INEGI. Octubre, 1995. Y GPS Curso de Capacitación Avanzado, octubre 1992.

Las técnicas de levantamientos diferenciales de alta precisión son muy complicadas, por ejemplo las que dependen de un complejo postproceso de los datos GPS, de la utilización de redes de medición cuidadosamente planeadas, posicionamientos de 1 o varias horas; otras técnicas de levantamientos muy delicadas, como por ejemplo, si un receptor pierde el enganche de los satélites por un momento, el operador debe regresar al último punto medido para reiniciar el levantamiento.

Estas técnicas utilizan receptores geodésicos que son también mucho más caros que los receptores comunes, porque estos deben rastrear todos los satélites visibles simultáneamente y usualmente están equipados para recibir ambas frecuencias carrier (L1 y L2), así como el código P.

Como no se menciona, el código C/A tiene una frecuencia de cerca de 1 Mhz., el código P de cerca de 10.23 MHz., mientras que la carrier de la L1 tiene una frecuencia de 1.575 gigahertz, (que como vimos la precisión depende de la frecuencia de la señal), esto es más de 1000 veces más precisa que el código C/A, así que la señal carrier puede actuar como una referencia mucho más precisa que los códigos para medir el tiempo de viaje de la señal, que finalmente se traduce en un código más preciso del código de la posición, y así poder obtener precisiones del orden de centímetros a milímetros.

El problema es que se necesita una manera para medir la distancia a los satélites en términos de ciclos de la fase carrier, esto no fue tan difícil con los códigos (C/A ó P), porque estos tienen una estructura, así que es fácil determinar donde empieza y donde termina, entonces comparar partes iguales de código y determinar el tiempo de viaje de la señal. Pero la onda portadora (carrier) es una onda continua de ondas sin características distintivas, lo cual hace difícil comparar partes iguales de la fase, es decir contar los ciclos (ondas), porque todas son iguales, y además no es fácil determinar cuantos ciclos de la fase carrier se pierden entre el receptor y el satélite, así que este código tiene una incógnita inicial, la señal es ambigüedad en un número entero de longitudes de onda, a esto también se le llama ambigüedad entera.

La "ambigüedad de la fase carrier" se puede resolver (fijar), usando una variedad de técnicas diferenciales, bastante complicadas. A continuación se explican de manera general, las técnicas diferenciales utilizadas por el programa LINECOMP, que es parte integral del programa de postproceso GPPS de Ashtech.

El programa LINECOMP, utiliza técnicas diferenciales para minimizar la mayoría de los errores, como los errores en los relojes, en las órbitas de los satélites y errores por ruido del receptor, luego utiliza el cálculo de mínimos cuadrados para determinar la mejor solución del vector.

Normalmente realiza el método de la *diferencia simple* (single difference), la cual es la diferencia entre las mediciones de los satélites entre dos receptores midiendo el mismo satélite al mismo tiempo, o entre dos satélites al mismo receptor. Este primer método de diferencia simple reduce los errores de los relojes en los satélites y las órbitas.

Después realiza el método de la *diferencia doble* (double difference), que es la diferencia entre dos receptores midiendo dos diferentes satélites al mismo tiempo. Este método reduce los errores introducidos por el reloj del receptor.

Finalmente realiza el método de la *diferencia triple* (triple difference), que es la diferencia de las diferencias dobles que tengan diferente tiempo. La diferencia triple elimina la ambigüedad en las mediciones de la fase de las señales de los satélites y también permite la identificación de saltos de ciclo en las mediciones. Un salto de ciclo es un cambio repentino en la fase de la portadora. El salto de ciclo ocurre debido a una pérdida de enganche con la señal del satélite.

Una ambigüedad es el número de ciclos (ondas) que sumados a la fase portadora fraccionaria haría la distancia total al satélite. Uno de los objetivos principales de la doble diferencia es determinar correctamente el valor de ese número entero. Este proceso se conoce como fijación de ambigüedades. Las soluciones más exactas son aquellas en que las ambigüedades son correctamente fijadas a números enteros.

En el proceso de la doble diferencia, una ambigüedad es calculada para cada satélite con referencia a un mismo satélite. Este satélite es conocido como el satélite de referencia, y es generalmente el satélite que tiene el mayor número de mediciones durante la observación.

Satélite de referencia: 7

Satélite	Ambigüedad	FIT	Medidas	Satélite	Ambigüedad	FIT	Medidas
2	8734396.982f	0.009	647	15	16547427.897f	0.039	622
19	-13177046.078f	0.027	442	26	5858643.021f	0.016	647
27	-2008147.038f	0.017	647				

Una vez que las ambigüedades han sido calculadas como números reales, el algoritmo intentará fijar estas ambigüedades a números enteros. El algoritmo para fijar las ambigüedades comienza con una búsqueda del entero para todas las combinaciones de ambigüedades dentro de un cierto rango de valores flotantes. El programa puede intentar miles de combinaciones antes de encontrar el mejor grupo de enteros determinados usando la prueba estadística "Chi cuadrada".

Usando pruebas estadísticas, el mejor grupo de números enteros para las ambigüedades será determinado. Además, otra prueba necesita cumplirse antes de que el algoritmo fije las ambigüedades a números enteros, esto es que el mejor grupo de números debe mostrar ser significativamente mejor que cualquiera de las otras combinaciones. Esto es hecho usando las pruebas de contraste y contraste absoluto. Una vez que se determinaron (fijaron) las ambigüedades, se genera una solución final del vector. Esta solución se llama la solución de la doble diferencia fija.

LA SOLUCIÓN DE DOBLE DIFERENCIA FIJA (L1)

Medida de geometría: 0.014072 Longitud de onda = 0.190294 (m/ciclo)
 núm_medidas = 3030 núm_usadas = 2997 rms_residal = 0.004698(m)
 chí cuadrada = 2133.002 NDF = 6.938
 Satélite de referencia: 7 Razón de búsqueda del número entero = 100.000

Satélite	Ambigüedad	FIT	Medidas	Satélite	Ambigüedad	FIT	Medidas
2	8734397.000X	0.015	647	15	16547428.000X	0.039	614
19	-13177046.000X	0.029	442	26	5858643.000X	0.018	647
27	-2008147.000X	0.017	647				

La razón de búsqueda del número entero (Integer Search Ratio) refleja el contraste calculado de la última iteración en la sección de resolución de ambigüedades. Si este valor es mayor de 95%, entonces todas las ambigüedades se fijaron a números enteros. Esto se confirma más aún con los valores de las ambigüedades, las que se muestran con valores enteros y también están marcadas con una letra X. Esta solución entrega una solución con precisión de milímetros a centímetros dependiendo de la longitud de la línea base (vector).

La utilización de código P facilita grandemente la fijación de ambigüedades, por lo cual se necesita menos tiempo de observación, para tener una idea de esto, para un posicionamiento estático sin

código P se necesitan de 45 min. a 1 hr. de observación para obtener buenos resultados, con código P, es necesario solamente 10 min.

Por otra parte con doble frecuencia se pueden remover muchos de los efectos de llamaradas solares y tormentas magnéticas y mejorar las soluciones para líneas base largas, donde las condiciones ionosféricas son diferentes para ambos receptores. Las señales de radio al atravesar la Ionósfera, experimentan un retardo, cuando los receptores están muy lejos entre sí, el retardo es diferente para cada receptor, por que las señales atravesaron diferentes porciones de la Ionosfera, este error tiene que ser minimizado, mediante la medición de velocidades relativas en dos señales diferentes. Esto se basa en que, cuando la luz (o señales de radio) al atravesar la Ionosfera, su velocidad baja en razón inversamente proporcional a su frecuencia al cuadrado. Así, si se compara el tiempo de llegada de dos partes de señal, que tienen diferente frecuencia, se puede determinar que clase de cambio de velocidad ha ocurrido. Este tipo de corrección es muy sofisticado, y se necesitan equipos de doble frecuencia. Este tipo de corrección se debe aplicar en la medición de líneas-base de mas de 40 km.

Cabe aclarar que existen 2 errores que no pueden ser eliminados por técnicas diferenciales, uno es el movimiento del centro de fase de la antena, este error puede ser minimizado utilizando antenas de tipo microstrip, y orientando estas en la misma dirección (típicamente hacia el norte); El otro error es debido al multipath, el cual se pueden minimizar usando antenas adecuadas del tipo plano de tierra (Ground plane) y evitando superficies (objetos) reflejantes cerca del receptor.

BIBLIOTECA DEPTO.
DE GEOLOGIA

BIBLIOTECA DEPTO.
DE GEOLOGIA

7.- MÉTODOS DE LEVANTAMIENTO CON EQUIPOS GPS. ²¹

Antes de describir los métodos de levantamiento, para su mejor comprensión se definen los términos utilizados:

Línea-base (vector).- Distancia entre 2 receptores GPS.

Sesión.- Periodo de tiempo el cual 2 o más receptores, toman medidas (graban datos), simultáneamente a un determinado numero de satélites.

Mascara de elevación.- La cantidad en grados, arriba de los cuales la antena del receptor grabara datos, 0° es el horizonte y 90° es el cenit, lo más usual es usar una mascara de 15°, esto para evitar efectos de multicamino, e información ruidosa por efecto de la Ionósfera.

Intervalo de grabación.- Periodo de tiempo entre una grabación de datos y otra, es decir un intervalo de grabación de 15 seg. significa que el receptor grabara datos cada 15 seg. En la mayoría de los equipos esto es seleccionable, pueden grabar datos a intervalos de por ejemplo 30, 20, 15, 10, 5, 1 seg., el estandar es de 15 seg.

Época.- Es el instante del evento, intervalo es el tiempo entre dos épocas; los receptores continuamente reciben las señales de los satélites pero solamente graban información a intervalos fijos que se conocen como épocas, por ejemplo con un intervalo de grabación cada 15 seg., se tendrían 4 épocas en una sesión de 1 minuto, y 240 épocas en una sesión de 1 hr.

Ventana de medición.- Es el periodo de tiempo en el cual se cumplen una serie de factores, para un determinado lugar y día, en el cual se podrá realizar un posicionamiento (sesión), estos factores incluyen un mínimo de 4 satélites, y un PDOP menor de 5.

Postproceso.- Cálculos diferenciales, realizados por programas especializados, para determinar líneas-base (vectores). Los receptores realizan un proceso de los datos, por eso, a esto se le denomina Postproceso.

Ajuste.- Los vectores generados en el postproceso tienen que ser ajustados estadísticamente por mínimos cuadrados, para eliminar errores, y obtener resultados óptimos.

Rover.- Receptor móvil (alternativo), que se encuentra en movimiento ó estático realizando uno o más posicionamientos en una área determinada, mientras otro receptor (referencia) se encuentra sobre una marca con coordenadas conocidas, grabando información simultáneamente, en un DGPS.

A continuación se muestran los principales métodos de levantamiento con equipos GPS, el equipo requerido y las precisiones que se pueden obtener.

²¹ Para mas informacion sobre los metodos de medicion con equipo GPS consultar:
Manual de la brigada de geodesia. INEGI. 1994.
Mijares M. M. 1995. Medición de terrenos ejidales por medio del Sistema de Posicionamiento Global GPS.
Application Guide, Series 4000. Trimble 1995.

7.1.- Método estático.

Este método es el más preciso de todos, pero es el que más tiempo consume de 1 a varias horas dependiendo del tamaño de las líneas-base a medir, este método es el utilizado para levantamientos de alta precisión.

Este método requiere de uno o más receptores localizados sobre marcas con coordenadas precisas conocidas, y uno o más receptores localizados sobre las marcas, a las cuales se determinara su posición (coordenadas), mediante la medición de líneas-base, todos los receptores deben realizar observaciones simultáneamente, a un mínimo de 4 satélites, a un intervalo de grabación de 15 seg., y por un periodo de tiempo de 45 a 60 min. o más, y PDOP menor a 6. Una vez recolectados los datos son transferidos a una computadora, para ser postprocesados, y ajustados.

Existen dos tipos de levantamientos estáticos:

- 1).- Con frecuencia simple, apropiada para líneas-base pequeñas de menos 15 km., aunque se pueden medir líneas-base de hasta 20 km. con buenas condiciones atmosféricas. La precisión típica obtenida es de $\pm 1 \text{ cm.} + 1 \text{ ppm.}$ (por la longitud de la línea base).
- 2).- Con doble frecuencia, apropiados para levantamientos geodésicos de alta precisión, se pueden medir líneas-base de hasta 800 km. con buenas condiciones atmosféricas. La precisión típica obtenida es de $\pm 5 \text{ mm.} + 1 \text{ ppm.}$ (por la longitud de la línea base).

7.2.- Método estático rápido.

Este método es un poco menos preciso que el estático, pero es substancialmente más rápido, este método es para aplicaciones mas locales, se pueden medir líneas-base de hasta 20 km., pero se recomienda en líneas-base menores de 10 km. Este método requiere de cuando menos un receptor ubicado sobre una marca con coordenadas conocidas, y cuando menos un receptor móvil (rover) el cual podrá hacer el posicionamiento de 1 o mas marcas. Se requiere la observación simultánea a un mínimo de 4 satélites, por un periodo de 5 a 20 min. (dependiendo de la longitud de la líneas-base a medir), intervalo de grabación de 15 seg., mascara de elevación de 15° , obteniéndose precisiones de $\pm 1 \text{ cm.} + 1 \text{ ppm.}$

Para este método es necesario receptores de código P, y es más sensitivo a errores provocados por saltos de ciclo y PDOP alto.

7.3.- Método cinemático.

Este método es para levantamientos llamados topográficos, es recomendado para levantar una gran cantidad de puntos en una área de interés, con necesidades de precisión menor que los métodos anteriores, esto con fines de mapeo de áreas en general como: caminos, predios, parcelas, lotes, etc. Obteniéndose precisiones del orden de $\pm 2 \text{ cm.} + 2 \text{ ppm.}$

Existen 2 tipos de levantamientos cinemáticos:

- 1).- Parar y Seguir, (Stop and Go), este utiliza uno o más receptores que permanecen sobre marcas con coordenadas conocidas, y uno o más receptores móviles (rovers), realizando las mediciones. El rover debe de iniciar en un punto con coordenadas conocidas, o en su defecto realizar un

procedimiento de iniciación (inicialización estática de 1 hr, o antena SWAP), se inicia con un tiempo de 30 min. de grabación sobre la marca de coordenadas conocidas, las siguientes marcas a posicionar, requieren de un mínimo de 2 épocas para poder fijar la solución, pero se recomiendan 2 min., y se debe terminar con 30 min. en el ultimo punto posicionado.

Si en el transcurso del levantamiento se pierde el enganche de los satélites, se debe regresar al punto anterior y reinicializar con 30 min. Se recomienda un intervalo de grabación de 10 seg. y mascara de elevación de 15°, y un mínimo de 4 satélites y PDOP menor de 6.

Este método requiere equipos de 1 o 2 bandas (frecuencias carrier), y código P. Si el código P no esta activo, o se cuenta con equipos de frecuencia simple, los tiempos de inicialización, reinicialización y termino, deberán de ser de 10 min.

2).- Continuo, este método es utilizado para aplicaciones en movimiento (navegación), se utiliza para determinar la ruta de un vehículo, ya sea terrestre, marino, o aéreo. En este método se determina una líneas-base para cada época, y con esto se puede conocer la posición instantánea, velocidad y rumbo de la trayectoria del vehículo. Para este método se necesitan de una o más estaciones bases, que estén transmitiendo información diferencial, para que pueda ser utilizada por los vehículos en movimiento, o bien como se menciona anteriormente en DGPS invertido, los vehículos transmiten su información a la estación base y es en esta, donde se conocerán sus características de movimiento con mayor exactitud.

7.4.- Método Cinemático en Tiempo Real (RTK).

RTK (Real Time Kinematic), como su nombre lo indica se trata de un método Cinemático pero en tiempo-real, lo que significa que el rover conocerá la posición precisa de las marcas, en el momento mismo en que las esta midiendo. Evitando como en los otros métodos, la transferencia de los datos a una computadora para su posterior postproceso.

Al igual que los métodos anteriores se necesita de un receptor posicionado sobre una marca con coordenadas conocidas, un equipo de radio-enlace para transmitir la información a los rovers, y uno o varios rovers. Este conjunto de equipos para la marca Trimble, recibe el nombre de Estación Total GPS, por que realizar la mayoría de las funciones de una estación total tradicional, y su procedimiento es el siguiente.

Se coloca el receptor de referencia sobre la marca (punto), con coordenadas conocidas, el cual permanecerá sobre esta durante todo el levantamiento, el cual recibe información de código de fase, la cual envía a un radiotransmisor para que este a su vez la transmita a los rovers en el área de medición, la longitud de las líneas-base esta restringida por el alcance del radio y es generalmente de 10 km. aunque se pueden emplear repetidores para ampliar el área de cobertura, o salvar obstrucciones. Los rovers deben de iniciar de un punto de coordenadas conocidas y inicializar con tiempo general de menos de 5 min. o utilizar un accesorio inicializador RTK. El tiempo de ocupación típico por marca es de 3 seg., a un intervalo de grabación de 1 seg., cabe mencionar que los rover reciben la información del código de fase del receptor de referencia y la procesan con la que ellos reciben, ayudándose de poderosos procesadores, y así obtener precisiones centimétricas en tiempo real del orden de ± 2 cm. + 2 ppm.

7.5.- Operación autónoma.

Este método requiere de un solo receptor el cual se coloca sobre la marca y se deja grabando su posición por un periodo de tiempo de 15 min. a 1 hora, obteniéndose precisiones de menos 50 m. si la Disponibilidad Selectiva (SA) no esta activa, si la SA esta activa, esta produce una degradación de alrededor de 100 m. el 95 % de las veces, y hasta 300 m. el 5 % restante.

7.6.- Resumen de precisiones

- 1).- Realizando un posicionamiento autónomo con código C/A, la precisión obtenida es de menos de 50 m. Con la Disponibilidad Selectiva activa se puede esperar una degradación de la precisión de hasta 100 m.
- 2).- En posicionamientos autónomos con receptores que captan código P (Y), las precisiones son de menos de 10 m.
- 3).- Utilizando equipos GPS para mapeo, usando técnicas diferenciales con código C/A, o también llamada técnica de pseudorángos, es posible obtener precisiones del orden de 2 a 5 m en tiempo real, y de menos de 2 m. en postproceso.
- 4).- Utilizando equipos GPS para mapeo de alta calidad, se pueden obtener precisiones inferiores a 1 m., los cuales utilizan técnicas diferenciales con fase carrier (L1), en postproceso.
- 5).- Utilizando técnicas de cinemático en tiempo real (RTK), se pueden obtener precisiones de menos de 2 cm. en tiempo-real, mediante técnicas diferenciales de fase carrier.
- 6).- Con receptores de alto Grado (geodésicos), y utilizando técnicas diferenciales de fase carrier, se pueden obtener precisiones de menos de 1 cm.

Antes de comprar un equipo GPS es importante tener bien claro, la precisión que se desea obtener, y si se necesita esta precisión de manera casi instantánea (tiempo-real), o no (post-proceso).

- ¿ Que precisión se requiere ?
- ¿ En tiempo-real o en post-proceso ?

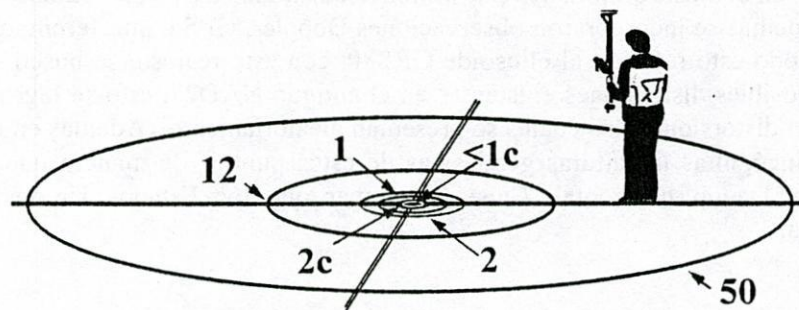


Figura 7.1

BIBLIOTECA DEPTO.
DE GEOLOGIA

8.- SISTEMA GEODÉSICO DE REFERENCIA (SGR).²²

8.1- Definición.

Un sistema geodésico de referencia (SGR), es un conjunto de valores numéricos, de constantes geométricas y físicas, que definen en forma única un marco matemático sobre el cual se va a determinar la forma y tamaño de la tierra, o parte de ella. Por lo que puede tener una concepción global o absoluta, y regional o continental.

A continuación se resumen las características de los principales Sistemas Geodésicos de Referencia.

8.2.- SGR NAD27.

El sistema NAD27 (Norteamerican Datum de 1927), fue diseñado originalmente para ser un marco de referencia para Norteamérica, o sea es un SGR continental. A principios de siglo el DR. William Bowie considerando los recursos técnicos disponibles en la época, y buscando que las distorsiones que se pudieran introducir resultaran mínimas, se pretendió construir una red geodésica horizontal con una precisión promedio de 1/ 25 000; el NAD27 tiene la definición clásica de un SGR local, un punto de origen (Datum), que se ubico en el rancho Meades (Meades Ranch), en el estado de Kansas, con acimut de referencia a la estación Waldo en el estado de Arizona, y se decidió usar el elipsoide de Clarke de 1866. Sin embargo debido a diferentes causas como: inconsistencias en los métodos de observación, cálculos no rigurosos, no haber realizado un ajuste integral de los datos, distribución heterogénea de las observaciones, y movimientos de la corteza terrestre, este objetivo no fue alcanzado. La combinación de todos estos efectos, produjeron inconsistencias en el sistema que arrojaron una precisión de tal solo 1 / 15 000.

8.3.- SGR NAD83.

En 1974 Canadá, Estados Unidos, México, Centro América, Groenlandia y algunas islas del Caribe, unieron esfuerzos para redefinir el sistema NAD27, para Norteamérica, lo que hoy se conoce como NAD83, que consistió en el ajuste simultáneo por mínimos cuadrados de 1 785 772 observaciones y 266 436 estaciones, además se incorporaron observaciones Doppler, GPS e interferometría de bases muy largas (VLBI), todo esto referido al elipsoide GRS80, con este reajuste se busco eliminar en promedio, todas las posibles distorsiones existentes en el antiguo NAD27, esto se logro en sentido general, pero persisten distorsiones, las cuales se presentan aleatoriamente. Además en el ajuste no se incluyeron como incógnitas las alturas geodésicas de estos puntos, de manera que el NAD83 permaneció como un Datum horizontal. Cabe mencionar que los Estados Unidos y Canadá adoptaron este sistema.

²² Resumido y adecuado de: La Nueva Red Geodésica Nacional: Tecnología de Vanguardia. INEGI. 1995. Y de Reformas y Adiciones a las Normas Técnicas para Levantamientos Geodésicos. Diario Oficial de la Federación. lunes 27 de abril de 1998.

8.4.- SGR GRS80.

El Sistema Global de Referencia de 1980 (GRS80), propuesto por la Asociación Internacional de Geodesia, esta definido en forma dinámica (esto es, el centro geométrico del elipsoide coincide con el centro de masa de la Tierra), es un SGR tridimensional, adicionalmente se tienen cuatro parámetros: semieje mayor, velocidad angular de la tierra, constante gravitacional de Newton y factor dinámico de forma, este ultimo que representa el achatamiento de la tierra sobre el campo gravitacional. A partir de estos parámetros se pueden derivar todas las constantes geométricas y físicas involucradas en los cálculos geodésicos.

8.5.- SGR WGS84.

El WGS84 (Sistema Geodésico Mundial de 1984), también esta definido dinámicamente, es tridimensional y tiene sus parámetros: semieje mayor, velocidad angular de la tierra, constante gravitacional de Newton y factor dinámico de forma, son idénticos al del GRS80, excepto el factor dinámico de forma, para tener una idea de esta diferencia, al considerar un punto con coordenadas derivadas en ambos sistemas, no existirá ninguna diferencia en longitud, mientras que para la latitud habrá una pequeña diferencia, la cual alcanza su máximo valor a los 45°, siendo la diferencia de 0.000003 segundos de arco o 0.0001 metros, lo que desde el punto de vista cartográfico resulta despreciable. Es importante mencionar el sistema GPS esta basado en el WGS84.

8.6.- SGR ITRF.

Actualmente el único estándar disponible de igual o mayor precisión que el GPS, son las técnicas basadas en (VLBI), la medición láser a satélites (SLR), las cuales se basan en métodos y equipos mas refinados y complejos. El Servicio Internacional de Rotación de la Tierra (IERS), el cual emplea estaciones VLBI Y SLR, para sus propósitos, introdujo el Marco de Referencia Terrestre Internacional (ITRF), el cual se basa en la combinación de varias soluciones globales tridimensionales y que esta propuesto como patrón al cual referir todos los trabajos geodésicos. Este sistema esta basado (asociado) al elipsoide GRS80, el cual esta definido por los siguientes parámetros:

Semieje mayor.	a	6 378 137 m.
Velocidad angular	ω	7 292 115 X 10 ⁻¹¹ rad/seg.
Constante gravitacional	GM	3 986 005 X 10 ⁸ m ³ /seg ²
Factor dinámico de forma (no normalizado).	J ₂	108 263 X 10 ⁻⁸

Constantes geométricas derivadas.		
Semieje menor	b	6 356 752,3141 m.
Excentricidad líneal	E	521 854.0097 m.
Radio polar	c	6 399 593,6259 m.
Primera excentricidad al cuadrado	e ²	0,006 694 380 022 90
Segunda excentricidad al cuadrado	e ⁻²	0,006 739 496 775 48
Achatamiento	f	0.003 352 810 681 18
Reciproco del achatamiento	f ⁻¹	298.257 222 101
Cuadrante meridiano	Q	10 001 965,7293 m.

BIBLIOTECA DEPTO
DE GEOLOGIA

Radio medio	R_1	6 371 008,7714 m.
Radio de la esfera de la misma superficie	R_2	6 371 007,1810 m.
Radio de la esfera del mismo volumen	R_3	6 371 000,7900 m.

Tabla 8.1

El ITRF se define para diferentes años, así como para diferentes épocas; esto es, se define el sistema para un año dado en función de la información disponible para una época específica. Esto significa que la posición del centro de masa de la Tierra varía en cada una de las soluciones definidas, esto por la combinación de diferentes efectos geodinámicos, con lo que el elipsoide asociado se mueve. Adicionalmente se consideran los desplazamientos relativos que tienen las estaciones de monitoreo, por desplazamientos de la corteza terrestre (deriva continental).

Así el SGR ITRF92 época 1988, fue definido en el año de 1992, utilizando los datos disponibles de 1988.

8.7.- Adopción del Sistema Geodésico de Referencia ITRF92 en México.²³

México durante la mayor parte del siglo ha desarrollado su información geodésica dentro del marco del Datum Norteamericano de 1927 (NAD27), asociado al elipsoide de Clarke de 1866, con propósitos mayoritariamente cartográficos, que permitió la generación de cartas topográficas a diferentes escalas.

Pero el desarrollo tecnológico de nuestra época, con nuevos instrumentos, tecnologías de medición y análisis computacional, ha obligado a evolucionar la concepción de la Geodesia y de los resultados que de ella se esperan. La Geodesia ha superado en mucho su base geométrica inicial y se desenvuelve hoy en día en un contexto de entornos físico-dinámicos fundamentales, y ha pasado de la bidimensionalidad a la tridimensionalidad.

Las técnicas de medición contemporáneas se inscriben ahora en un entorno dinámico-espacial que permite resultados muy precisos en tiempos relativamente cortos en comparación con los métodos tradicionales, en particular el Sistema de Posicionamiento Global (G.P.S.), que en la década de los noventa ha venido revolucionando la tecnología de medición geodésica, sustituyendo ventajosamente a los métodos de posicionamiento astronómicos, triangulación, poligonación y Doppler, aplicados hasta fechas recientes para conformar la Red Geodésica Nacional.

Que los modernos equipos de medición disponibles en la actualidad, tales como distanciómetros electromagnéticos y de posicionamiento vía satélite, han superado en por lo menos un orden de magnitud la precisión del Datum Norteamericano de 1927 o NAD27, definido en las Normas Técnicas para Levantamientos Geodésicos publicadas el 1 de abril de 1985 en el Diario Oficial de la Federación.

Que con objeto de no degradar la calidad de los levantamientos realizados con las nuevas tecnologías anteriormente mencionadas, cada vez de mayor aplicación en nuestro país, y aprovechar

²³ Ver: Reformas y Adiciones a las Normas Técnicas para Levantamientos Geodésicos. Diario Oficial de la Federación. Lunes 27 de abril de 1998.

al máximo la potencialidad de estos equipos, obliga en términos de desarrollo a la adopción de un nuevo Sistema Geodésico de Referencia, compatible con la moderna tecnología.

Artículo primero.

Punto I.5.- Todo punto perteneciente a un levantamiento geodésico horizontal, deberá ser referido al Marco de Referencia Terrestre Internacional (ITRF) del Servicio Internacional de Rotación de la Tierra (IERS) para el año de 1992 con datos de la época 1988.0 y que se denomina ITRF92 Epoca 1988.0 que es el nuevo Sistema Geodésico de Referencia oficial para México.

Punto I.6.- Para los efectos del punto anterior, las Coordenadas Cartesianas ITRF92 Epoca 1988.0 se deberán transformar a coordenadas geodésicas curvilíneas (latitud, longitud y altura elipsoidal) en el elipsoide del Sistema Geodésico de Referencia de 1980 (GRS80).

BIBLIOTECA DEPTO.
DE GEOLOGIA

9.- RED GEODÉSICA NACIONAL ACTIVA (RGNA).²⁴

A continuación se abordan entre otros aspectos, los antecedentes, la implementación y las ventajas de utilizar la nueva Red Geodésica Nacional Activa.

9.1.- Antecedentes e implementación.

Como todas las actividades que se realizan en el país en materia de geodesia le competen al instituto nacional de estadística geografía e informática (INEGI). En 1992 se le asignó a este instituto la medición de 100 millones de hectáreas de terrenos ejidales, en el denominado programa PROCEDE (Programa de Certificación de Derechos Ejidales y Titulación de Solares Urbanos), esta medición tenía que ser lo más precisa posible y en un plazo relativamente corto, para lograr este objetivo se optó por utilizar instrumentación como estaciones totales y equipos GPS, de manera que este programa sirvió como catalizador, para la implementación de la Nueva Red Geodésica Nacional Activa (RGNA). La cual consta de 14 estaciones fijas en operación continua, distribuidas a lo largo del territorio nacional, cuya base operativa es el sistema de posicionamiento global GPS, basado en el SGR ITRF92 época 1988 asociado al GRS80, que aunque el GPS trabaja en el SGR WGS84, como se mencionó con anterioridad la diferencia entre este y el ITRF92 asociado al GRS80 es despreciable.

Conviene recordar que hasta ahora, cualquier levantamiento que pretenda o deba integrarse a la Red Geodésica Nacional, empleando los métodos de medición convencionales, debe ocupar inicialmente un punto de coordenadas conocidas y contar asimismo con una orientación inicial, para de ahí propagar coordenadas a los nuevos puntos, junto con los errores que en forma natural ocurren.

El uso del Sistema de Posicionamiento Global, modifica radicalmente este esquema, ya que puede ocuparse una estación de la RGNA simultáneamente con la o las nuevas estaciones. En este sentido, la estación ocupada desempeña un papel activo, puesto que ya no solamente se emplean las coordenadas de dicha estación, sino también los datos derivados en ella, de las observaciones a los satélites.

Es ampliamente conocido y está probado que para efectos de posicionamiento preciso es necesario emplear técnicas de medición relativa (diferenciales), las que hoy en día representan el método básico y más confiable para trabajos geodésicos.

9.2.- Ventajas de utilizar la nueva RGNA.

1).- Los usuarios no dependen de la ocupación de ningún vértice previamente establecido, con lo que se evitan ciertos inconvenientes especialmente si pertenecen a la red anterior, como:

a) El difícil acceso y localización de los vértices geodésicos, porque generalmente estos se encuentran en la cima de los cerros, lo que implica pérdida de tiempo.

b) Se evita también la necesidad de propagar las coordenadas hasta áreas de baja densidad de cobertura geodésica.

²⁴ Resumido de: La Nueva Red Geodésica Nacional. Una visión hacia el futuro. INEGI. 1994. y de: La Nueva Red Geodésica Nacional: Tecnología de Vanguardia. INEGI. 1995.

2).- Se evita la necesidad abrir líneas de visual cuando estas están obstruidas, ya que los equipos GPS solo necesitan tener una buena recepción de las señales de los satélites. Así que también se pueden diseñar redes geométricamente bien configuradas, así como salvar obstáculos topográficos.

3).- Se evita la dependencia de las condiciones meteorológicas para hacer los levantamientos, ya que el GPS de manera general no depende de las condiciones climáticas, e incluso se puede trabajar en la noche.

4).- Se pueden posicionar puntos muy precisos, de una manera fácil y rápida, en un marco riguroso, compatible con las nuevas tecnologías.

5).- La facilidad de reubicar monumentos o marcas geodésicas destruidas, de una manera fácil, rápida y precisa.

6).- Los datos de rastreo satelital de todas las estaciones fijas de la RGNA están a disposición de todos los usuarios interesados.

7).- La RGNA así constituida permitirá la colaboración con organismos de investigación que trabajen con equipos GPS, para realizar estudios sobre movimientos de la corteza terrestre, actividad sísmica y otras disciplinas en el campo de la geofísica.

8).- Las estaciones fijas de la RGNA, así como los puntos geodésicos derivados de ellas, servirán como puntos de referencia, (estaciones base) para realizar posicionamientos diferenciales (DGPS), y se puedan obtener precisiones relativas, desde un par de metros, hasta milímetros, dependiendo de los equipos y programas utilizados.

9).- La operación de la RGNA permite calcular datos orbitales precisos de los satélites GPS, así como establecer esquemas de integración y cooperación con otras redes de monitoreo en el ámbito internacional, lo que permitirá a México participar activamente en el desarrollo científico y tecnológico de alto nivel en la materia.

9.3.- Ubicación y coordenadas de las estaciones fijas de la RGNA.

Cada una de estas estaciones fijas de la RGNA, esta equipada con un receptor GPS de doble frecuencia, modelo PXII, de 12 canales de la marca Ashtech, que graba información satelital 23 hrs. al día, los 365 días del año, cada estación tiene un radio de cobertura de 500 km. La precisión de estas estaciones es de clase A, 1: 10 000 000.

El nombre, ubicación y coordenadas de las estaciones fijas se muestran a continuación:

BIBLIOTECA DEPTO.
DE GEOLOGIA

BIBLIOTECA DEPTO.
DE GEOLOGIA

Orden	Nombre de la Estación	Ubicación	Latitud Norte			Longitud Oeste			Altura Elipsoidal (m.)	Altura Ortométrica (m.)	Altura vertical de la Antena (m.)
			°	'	''	°	'	''			
A	COL2	Colima, Col.	19	14	40.00225	103	42	6.77207	528.8403		0.1735
A	CULI	Culiacán, Sin.	24	47	54.79178	107	23	2.18514	75.4503	102,986 SNMM	0.1473
A	CHET	Chetumal, Q.R.	18	29	42.99542	88	17	57.20162	3.0126	9,9696 SNMM	0.1504
A	CHI3	Chihuahua, Chih.	28	39	43.89732	106	5	12.25225	1413.1851	1436,805 SNMM	0.2570
A	MTY2	Monterrey, Mty.	25	42	55.82609	100	18	46.45205	521.7806		0.1398
A	HER2	Hermosillo, Son.	29	5	33.17336	110	58	1.96439	186.9589	219,2199 APROX	0.2224
A	INEG	Aguascalientes, Ags.	21	51	22.15562	102	17	3.12238	1888.6776	1903,1000 SNMM	0.1300
A	LPAZ	La Paz, B.C.S.	24	8	19.65739	110	19	9.61386	-6.6455	25,969 SNMM	0.1504
A	MERI	Mérida, Yuc.	20	58	48.16279	89	37	13.13418	7.9119	21,5109 SNMM	0.1453
A	MEXI	Mexicali, B.C.	32	37	58.76806	115	28	32.51529	-22.4206	12,369 SNMM	0.1488
A	OAXA	Oaxaca, Oax.	17	4	49.64073	96	43	9.50519	1595.9012	1597,045 SNMM	0.1540
A	TAMP	Tampico, Tam.	22	16	41.95723	97	51	50.48937	21.1075	37,5745 SNMM	0.1640
A	TOLU	Toluca, Mex.	19	17	24.61401	99	38	18.54648	2649.2355	2654,249 SNMM	0.2402
A	VILL	Villahermosa, Tab.	17	59	45.92287	92	54	47.83418	21.0750	31,7025 SNMM	0.1410

Tabla 9.1

La ubicación y cobertura de las estaciones fijas de la RGNA se muestra en la figura 9.2.

ESTACIONES FIJAS DE LA RED GEODESICA NACIONAL ACTIVA

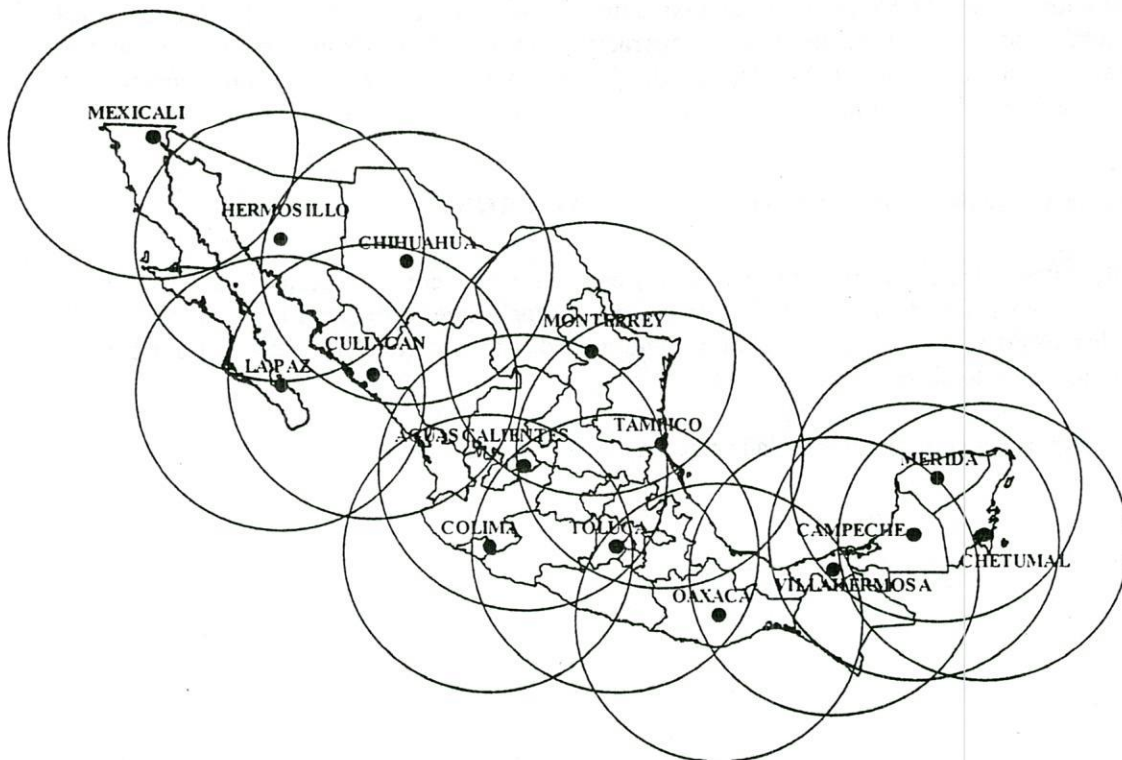


Figura 9.2

9.4.- Utilización de la información de la RGNA.

Cabe mencionar que las estaciones fijas interrumpen temporalmente su operación de las 21:00 a las 22:00 tiempo del meridiano 90° W (hora de México D.F.), diariamente con el objeto de darle un mantenimiento preventivo al receptor y antena, así como transferir la información recolectada a una PC, para su posterior venta y utilización. El receptor genera esta información en formato Ashtech. Cada marca genera su información en su propio formato, pero generalmente son 3 archivos:

- 1.- El archivo de datos, contiene la información del rastreo satelital, y es el de mayor tamaño.
- 2.- El archivo de efemérides contiene la información de las órbitas de los satélites.
- 3.- El archivo de sitio, contiene información como: clave, fecha, tiempo de medición e información meteorológica.

Para resolver este inconveniente la mayoría de los programas de los equipos GPS, pueden exportar e importar archivos en formato RINEX, (Receiver Independent Exchange Format), que es un formato estándar de información GPS, para que esta información pueda ser usada, independientemente de la marca de equipo GPS con el que se cuente.

La información de la RGNA puede ser adquirida en los centros de venta del INEGI, para lo cual se necesita hacer una solicitud indicando fecha e intervalo de tiempo deseado, tanto en horario local, como en horario GMT (del meridiano de Greenwich), y por supuesto de la estación fija deseada, así como especificar si se necesita la información en formato Ashtech o RINEX. Cabe aclarar que esta información no incluye código P, contiene código C/A, y las carriers en ambas frecuencias L1 y L2, y el intervalo de grabación es de 15 seg.

Se recomienda el uso de receptores GPS de doble frecuencia, para poder utilizar realmente la capacidad de RGNA, para usuarios que cuenten con equipos de una frecuencia se recomienda medir vectores a un máximo 40 km. de una estación fija.

A continuación se muestra una tabla comparativa indicando la estructura de los nombres de los archivos en diferentes formatos, para el día juliano 028 (28 de enero) de 1997, ver tabla 9.3.

ARCHIVO DE:	ASHTECH	TRIMBLE	RINEX
DATOS	BHER2A97.028	HER20231.DAT	HER20231.97O
EFEMERIDES	EHER2A97.028	HER20231.EPH	HER20231.97N
SITIO	SHER2A97.028	HER20231.MET	HER20231.97M

Tabla 9.3

Todos los nombres constan de 8 caracteres y una extensión de 3 caracteres.

a).- Para Ashtech la estructura es la siguiente.

- El primer caracter es el que indica que tipo de información contiene, B para datos, E para efemérides y S para el sitio y datos meteorológicos.
- Los siguientes 4 caracteres definen el nombre del sitio, en el ejemplo es HER2, que corresponde a la estación fija de Hermosillo.
- El sexto caracter indica la sesión del levantamiento a, b, c, d, etc.
- Los últimos 2 caracteres del nombre indican el año de la medición por ejemplo 96, 97, 98, etc.
- La extensión indica el día juliano (día corrido del año), del levantamiento, en el ejemplo es 028, para el día 28 de enero.

b).- Para Trimble la estructura es la siguiente.

- Los primeros cuatro definen el nombre del sitio, ejemplo HER2.
- Los siguientes tres caracteres indican el día juliano, ejemplo 028.
- El ultimo caracter del nombre indica la sesión, ejemplo 1, 2, 3, 4, 5 etc.
- Las extensiones indican que tipo de información contiene, DAT para datos, EPH para efemérides y MET para sitio y meteorológicos.

Aunque cabe aclarar la Trimble modifíco su formato, y en la actualidad sus receptores generan un solo archivo con extensión DAT, que contiene toda la información.

c).- Para RINEX la estructura es la siguiente.

- El nombre es idéntico al descrito anteriormente para Trimble, solo varia en la extensión.
- Los dos primeros caracteres de la extensión indican el año del levantamiento, ejemplo 95, 96, 97 etc.
- El ultimo caracter indica que tipo de información contiene, O para datos (Observaciones), N para efemérides (Navegación) y M para sitio (Meteorológicos).

9.5.- Transformación NAD27-ITRF92.²⁵

En el aprovechamiento del marco ITRF92, muchos usuarios se verán en la necesidad de transformar los datos de NAD27 al nuevo sistema. Cabe mencionar que el NAD27 y el ITRF92 son sistemas incompatibles entre sí, que no permiten llevar o transformar valores de un sistema a otro, sin la introducción de severas deformaciones. El NAD27 como se menciono con anterioridad es inconsistente por sí mismo, de tal suerte que los parámetros de transformación derivados a partir de los puntos comunes con coordenadas en ambos sistemas serán inconsistentes. En caso de determinarse parámetros de transformación entre los dos sistemas, estos no pueden limitarse a un juego o juegos de parámetros, ya que se tendrían tales valores en forma discreta y se requiere conocerlos en forma continua para cualquier parte del país.

En adición a lo anterior, el INEGI en marzo de 1993, efectuó una liga entre la RGNA y 300 puntos de la Red Geodésica Nacional anterior, con el propósito de desarrollar los modelos y algoritmos de transformación entre NAD27 y el ITRF92, con los cuales permitieron generar el programa TRANINV.

De acuerdo con el artículo tercero, en el apartado de transitorios de las Reformas y Adiciones a las Normas Técnicas para Levantamientos Geodésicos publicadas en el Diario Oficial de la Federación del 27 de abril de 1998. Para transformar valores de coordenadas geodésicas curvilíneas referidas al sistema NAD27 al nuevo Sistema Geodésico de Referencia ITRF92 época 1988. O viceversa se deberá aplicar el programa TRANINV, que esta disponible en los Centros de información y Ventas del INEGI.

En conclusión, el uso de este programa, deberá ser utilizado para transformar los datos de NAD27 hacia ITRF92, o viceversa para fines cartográficos de baja precisión, porque como se menciono el

²⁵ Para mayor información consultar:

Hernández, N.A. 1994. ITRF Vs NAD27.

Alvarez G. G., Soler T. y Hothem L. D. Diferencias NAD83 Vs ITRF en la cartografía topográfica sobre la frontera México-EUA.

Hernández, N. A. y Bugarín G. A. M. 1995. ¿Reponer, Reajustar o Transformar?.

Hernández, N.A. 1993. ¿Es necesario cambiar de sistema geodésico de referencia en México?

NAD27 es inconsistente de origen, es un SGR horizontal (bidimensional), no geocéntrico y que tiene una precisión promedio de 1:15 000, si a esto se le agrega que cualquier transformación involucra un error, sobre todo cuando se involucran dos SGR incompatibles, de manera que la precisión se degrada grandemente al hacer la transformación. Los trabajos geodésicos de alta precisión, se deberán apoyar en un SGR riguroso y preciso WGS84, GRS80 o ITRF92. Oficialmente en México este tipo de trabajos deberán ser referidos al ITR92 época 1988.

9.6.- Red Geodésica Nacional Pasiva (RGNP).²⁶

Para los usuarios tradicionales de información geodésica que requieren datos relativos a puntos previamente medidos, el INEGI como resultado de los trabajos efectuados dentro del PROCEDE, ha realizado a la fecha el posicionamiento y monumentación de aproximadamente 12 500 pares de puntos GPS intervisibles entre sí, con una precisión mínima de 1: 50 000, referidos en el ITRF92, los cuales se verán incrementados a medida que los trabajos dentro del PROCEDE avancen. Esta información esta disponible en los Centros de información y Venta del INEGI, la cual consta de un croquis e itinerario para la localización de los puntos, y las coordenadas de los mismos.

9.7.- Determinación de alturas sobre el nivel medio del mar con GPS.²⁷

Mucha gente esta interesada en obtener alturas sobre el nivel medio del mar (SNMM), utilizando equipos GPS, pero el GPS trabaja con alturas elipsoidales, esto es, las alturas son referidas a un elipsoide, para obtener alturas SNMM, es necesario utilizar un modelo de ondulación. (ver fig. 9.4).

Elipsoide.- Es la figura matemática de una elipse de revolución, que representa la forma y tamaño de la Tierra, que se ha adoptado como la más conveniente para los cálculos matemáticos.

Geoide.- Es una figura equipotencial de gravedad, que esta definida por el nivel medio del mar, que sirve de base a la Geodesia y que se obtiene admitiendo como superficie del mismo la del nivel medio del mar prolongada por debajo de los continentes, con la característica de que la dirección de la gravedad siempre es perpendicular la superficie del geoide.

De manera que para conocer la altura SNMM, es necesario conocer la altura sobre el geoide o también llamada altura ortométrica (N).

Como el elipsoide es una superficie regular y el geoide es una superficie irregular, estas dos superficies no coinciden, el geoide se aparta del elipsoide en ± 20 ó 30 m., a esta desviación se le denomina ondulación, entonces para conocer (N), se requiere apoyarse en un modelo de ondulación. Ver fig. 9.4.

Donde:

h = Altura ortométrica

H = Altura elipsoidal, esta es la altura que proporcionan los GPS, que es la altura entre el receptor sobre la superficie de la Tierra y la superficie del elipsoide, esta altura puede ser (+) o (-).

N = Representa la diferencia de alturas entre el elipsoide y el geoide.

²⁶ Tomado de: La Nueva Red Geodésica Nacional. Una visión hacia el futuro.

²⁷ Resumido de: Manual de conceptos básicos. INEGI. 1994, y Recopilación del autor.

BIBLIOTECA DEPTO.
DE GEOLOGIA

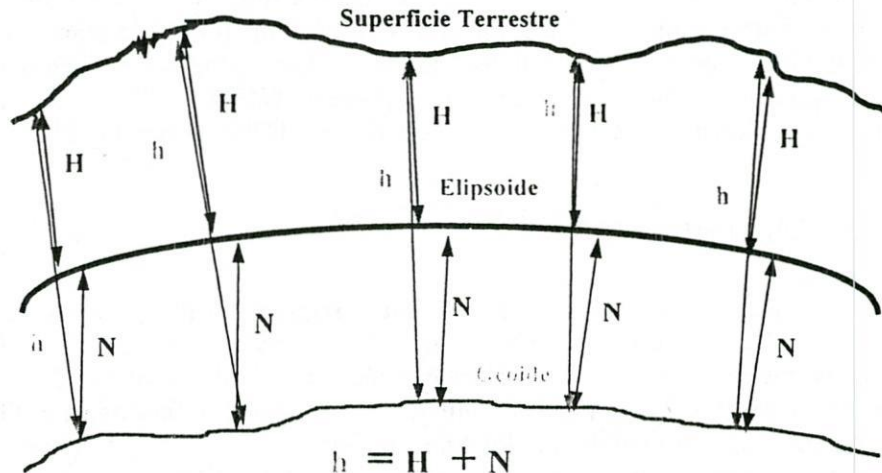


Figura 9.4

Existen modelos de ondulación, locales, continentales o globales, muchos países tienen modelos de ondulación precisos, pero desgraciadamente para México no existe ninguno, el INEGI ya está trabajando en la elaboración de un modelo de ondulación para México (comunicación oral con Eduardo Vázquez, jefe de la RGNA, INEGI, Ags. Ags. México.). Para tener una aproximación se puede utilizar uno de los modelos globales más nuevos y utilizados el OSU91A.

Los programas de ajuste estadístico de observaciones GPS, como Geolab de Geosurv Inc. ó Trimnet de Trimble, poseen la capacidad de utilizar varios modelos de ondulación como el OSU91A, para calcular alturas ortométricas, pero estas son aproximaciones y no son muy precisas, pueden tener errores de 1 a 2 m.

También algunos equipos portátiles proporcionan alturas ortométricas, pero también usan un modelo de ondulación global, y son menos precisas.

Si lo que interesa son diferencias de altura entre puntos, y no tanto el valor real, se pueden utilizar las diferencias de altura elipsoidales, siempre y cuando el área de trabajo no presente cambios abruptos de altura, esto debido a que el geoide y el elipsoide se comportan de manera más o menos constante, en zonas planas, de manera que se puede esperar obtener un error de algunos centímetros si se utilizan las alturas elipsoidales.

Pero si se necesita conocer con precisión la altura sobre el nivel del mar (ortométrica), de un punto levantado con GPS, lo más adecuado es hacer una nivelación diferencial de precisión a partir de un banco de nivel ya sea de primer o segundo orden. Y si se necesita un control de altura preciso en un proyecto, se recomienda hacer un diseño de redes para la medición y que varios de estos puntos (2, 3, o más, dependiendo del tamaño de la red) cuenten con coordenadas ortométricas, y se realice un ajuste global. Algunos programas como Gpsurvey de Trimble en su módulo de ajuste donde se pueden fijar coordenadas en Latitud, Longitud, altura elipsoidal, y altura ortométrica.

Según información proporcionada por el INEGI en el estado de Sonora existen cerca de 1133 bancos de nivel de precisión (primer orden), y 1164 bancos de nivel topográficos (segundo orden). En tanto que en el ámbito nacional se cuentan con cerca de 14756 bancos de nivel de primer orden, y 12514 bancos de nivel de segundo orden.

10.- USOS DEL GPS EN GEOLOGÍA

La tecnología GPS puede ser ampliamente utilizada en aplicaciones geológicas, en este capítulo se describen detalladamente algunas de las principales, que incluye las diferentes precisiones que se pueden obtener utilizando equipos GPS, y dependiendo de la precisión que se requiera, se hacen recomendaciones sobre el tipo de equipo GPS y programas a utilizar, así como del procedimiento a realizar, que involucra el método de levantamiento, procesamiento y ajuste de los datos. También se mencionan los lineamientos generales para un levantamiento GPS, y se ejemplifica con un levantamiento real.

10.1.- Navegación.

Quizás la ventaja más grande que ofrece el Sistema de Posicionamiento Global, es su uso en aplicaciones de navegación, un receptor puede calcular su posición en cualquier parte de la Tierra de una manera rápida y sencilla, y si este se encuentra en movimiento, puede determinar su velocidad y rumbo de desplazamiento. Los receptores GPS están siendo utilizados en la mayoría de medios de transporte como: aviones, barcos, automóviles, motos, y por personas que se pueden desplazar a pie o en bicicleta.

Adicionalmente los receptores GPS son capaces de grabar la posición de ciertos puntos de un trayecto, y así determinar la ruta a un cierto punto. De manera que si se desea ir o regresar a un cierto punto, se puede utilizar la capacidad de navegación del receptor, el cual proporcionará el rumbo a seguir y la distancia a recorrer a cada uno de los puntos de la ruta, hasta finalmente llegar al punto de interés. Esto puede ser ampliamente utilizado en aplicaciones geológicas, para localizar entre otras cosas: afloramientos de rocas, fallas, depósitos minerales, brechas, contactos geológicos, localidades fosilíferas, zonas de alteración, zonas de riesgo geológico, barrenos, y poblados.

Con un receptor GPS y una carta topográfica, el operador puede ubicarse en el terreno, de una manera fácil, rápida y precisa. Además es muy difícil desorientarse, si se desea ir a un cierto lugar, solamente se introduce al receptor las coordenadas de dicho lugar, o la ruta (varios puntos), y el receptor proporciona el Acimut y la distancia a seguir para llegar al punto de interés. Esto cobra una mayor importancia cuando se trata de localizar un determinado punto, en lugares cubiertos por nieve, en planicies desérticas, o dentro de cuerpos de agua (mar, lagos), en donde no se tienen rasgos topográficos distintivos para poder ubicarse; inclusive se puede hacer esto de noche.

La mayoría de los receptores GPS cuentan con capacidad para navegación, para este tipo de aplicación se recomienda utilizar equipos portátiles, que por su precio, tamaño y peso son ideales para este tipo de trabajo. Entre los más comunes se tienen el GeoExplorer II de Trimble, y el ProMARK X de Magellan, estos equipos mediante un levantamiento autónomo proporcionan precisiones puntuales de 20 a 50 m. con la SA desactivada.

BIBLIOTECA DEPTO.
DE GEOLOGIA

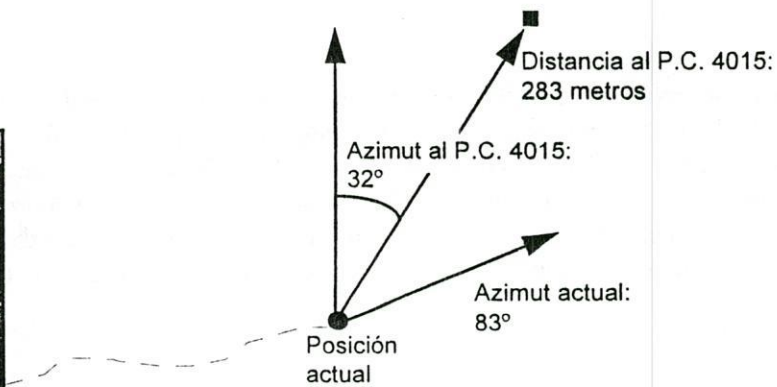


Figura 10.1

10.2.- Exploración y Cartografía.

En exploración geológica los equipos GPS son de una gran ayuda porque permiten ubicar en una carta topográfica o plano, de una manera rápida y sencilla detalles de interés como: afloramientos de rocas, fallas, depósitos minerales, contactos geológicos, localidades fosilíferas, barrenos, puntos de muestreo, etc. Además un receptor GPS puede grabar información de puntos, líneas (distancia entre puntos), o polígonos (varios puntos) que determinan un área. Lo que los convierte en una excelente herramienta para aplicaciones de cartografía, con estos es posible cartografiar puntos (barrenos, sitios de muestreo, afloramientos), líneas (fallas, contactos), y polígonos (afloramientos, depósitos minerales, estructuras), esta información puede ser transferida a una PC como un archivo DXF, el cual puede ser importado desde programas mas especializados como AutoCad, o programas geológicos especiales, para su utilización y análisis.

Dependiendo de la precisión requerida, se puede utilizar diferentes tipos de equipos y procedimientos.

I.- Para una precisión puntual de 20 a 50 m. es suficiente utilizar equipos GPS portátiles y realizar un levantamiento autónomo.

II.- Si se requieren obtener mejores precisiones, de 2 a 5 m. es necesario realizar un proceso diferencial GPS.

Requerimientos:

1.- Equipo.- Utilizar 2 o más receptores de código C/A, y que cuenten con la capacidad de realizar procesos diferenciales, como el GeoExplorer II de Trimble, y el ProMARK X de Magellan. Se debe utilizar el Método Estático y el procesamiento de Pseudorangos, con los cuales es posible obtener precisiones de 2 a 5 en tiempo-real, y de menos de 2 m. en post-proceso.

2.- Establecer una estación base en el área de trabajo.- Para establecer esta estación base se necesita colocar uno de los receptores sobre un punto con coordenadas conocidas, el cual permanecerá grabando información durante todo el levantamiento, es decir grabando información simultáneamente con el otro equipo que se encuentra realizando los posicionamientos en el área de interés.

3.- Realizar un proceso diferencial GPS, el cual puede ser:

a).- En Tiempo-real mediante un enlace de radio, los receptores deben tener la capacidad de recibir este tipo de correcciones, generalmente vía el protocolo RTCM SC-104, para que el otro receptor corrija sus mediciones.

b).- En post-proceso, en donde los receptores graban información que posteriormente es transferida a una P.C. para ser procesada, y así corregir las mediciones.

III.- Si requiere obtener precisiones inferiores a 1 m., los requerimientos son iguales a los del punto II, salvo que los equipos a utilizar deben ser por lo menos de tipo 1 (ver tema 4.6 tipos de equipos), que capten código C/A y la fase portadora de la banda L1.

Para mas información sobre los métodos de levantamiento con equipos GPS y de los procedimientos diferenciales, ver los capítulos 6. Diferencial GPS, y 7. Métodos de Levantamiento con equipos GPS.

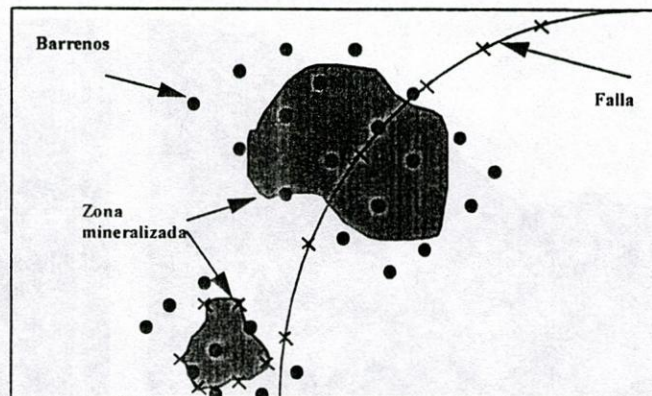


Figura 10.2

10.3.- Cuadrículas de muestreo.

Con GPS se pueden diseñar cuadrículas de muestreo, esta cuadrícula puede ser diseñada en gabinete, introducir al receptor los puntos de la misma con sus respectivas coordenadas, y utilizando el receptor en modo de navegación, ir hasta el punto deseado de una manera sencilla, porque el receptor proporcionara el rumbo y la distancia a dicho punto. Con esto se evita la necesidad de depender del topógrafo para que indique las líneas de muestreo, o utilizar brújula y cinta para realizar la cuadrícula y determinar los puntos de muestreo.

En estudios sedimentológicos la utilización de receptores GPS puede ser de gran utilidad, cuando se realicen muestreos en bahías, esteros, y/o deltas, resulta muy difícil ubicar con precisión las muestras que se toman dentro de cuerpos de agua, con un receptor GPS es posible determinar de una manera fácil y precisa la ubicación de cada una de las muestras, o inclusive hacer una cuadrícula de muestreo y posteriormente ubicarse (usando el GPS) sobre cada uno de los puntos a muestrear. Con lo que se puede obtener una representación más real de objeto de estudio.

Otra aplicación de este tipo (sobre cuerpos de agua), se emplea en la industria del petróleo, para tener una ubicación precisa de las perforaciones del fondo oceánico.

Dependiendo de la precisión requerida para el muestreo se pueden utilizar los equipos y procedimientos descritos en (10.2 Exploración y Cartografía).

10.4.- Batimetría.

Para levantamientos batimétricos el GPS es una herramienta ideal, un receptor GPS y un sonar pueden ser montados en una embarcación, y así medir la posición y la profundidad de cada punto, de manera fácil y precisa, posteriormente realizar un método de interpolación y obtener el perfil batimétrico.

Para este tipo de aplicación se deben utilizar procedimientos diferenciales, dependiendo de la precisión del levantamiento se pueden utilizar los equipos y métodos descritos anteriormente en el tema 10.2 Exploración y Cartografía.

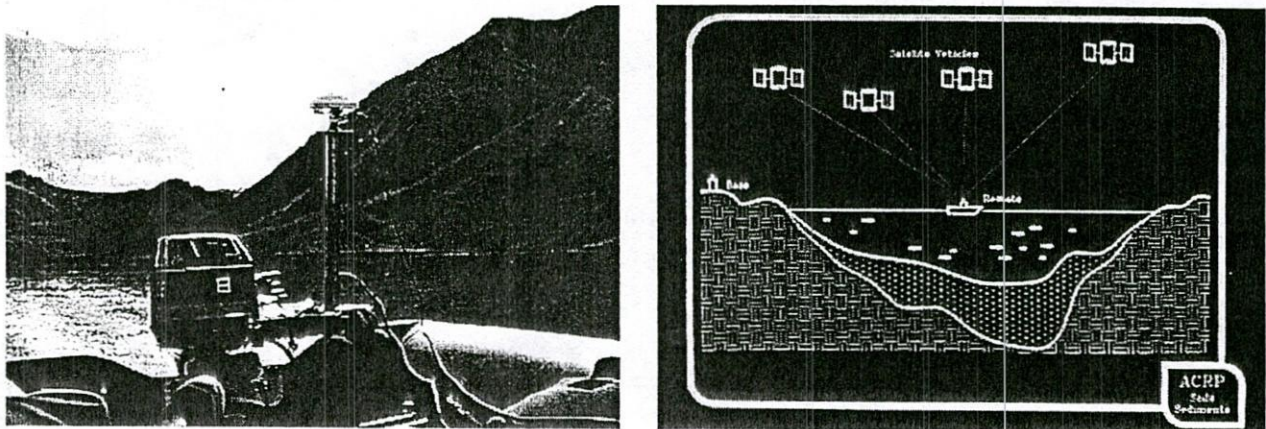


Figura 10.5

10.5.- Topografía y minería.

En minas a tajo abierto, el empleo de tecnología GPS esta desplazando a los métodos convencionales de medición con teodolito ó estación total.

Ventajas.

1).- Se evita la necesidad de establecer poligonales de apoyo, para a partir de estas medir (generalmente por el método de radiación), barrenos, avances, caminos, etc.

2).- Se evita la necesidad abrir líneas de visual cuando estas están obstruidas, ya que los equipos GPS solo necesitan tener una buena recepción de las señales de los satélites. Y adicionalmente la ventaja de salvar obstáculos topográficos.

- 3).- Ahorro de tiempo y recursos, una sola persona puede realizar las mediciones, con el consiguiente ahorro de tiempo y recursos.
- 4).- Se evita la dependencia de las condiciones meteorológicas para hacer las observaciones, ya que el GPS de manera general no depende de las condiciones climáticas, si es necesario puede trabajar bajo lluvia, nieve, altas temperaturas, o inclusive de noche.
- 5).- La facilidad de posicionar una gran cantidad de puntos, de manera fácil, rápida y precisa.
- 6).- Se reducen al máximo errores humanos como: errores de apreciación, errores de centrado y nivelación del equipo, errores sistemáticos al realizar las mediciones, errores de transcripción de datos y los errores al realizar los cálculos.

Requerimientos

Para realizar este tipo de levantamientos topográficos, es necesario contar con 2 ó más receptores GPS, y por la precisión de este tipo de trabajo, se necesitan receptores que capten fase carrier, ya sea de una frecuencia (L1), o de doble frecuencia (L2); como los siguientes: Dimension, PXII, ZXII de Ashtech; equipos de la serie 4000 ó 4600 de Trimble. Con estos equipos se pueden obtener precisiones de 1 cm. + 1 ppm con equipos de una frecuencia, y de 5 mm. + 1 ppm., para equipos de doble frecuencia. Los métodos a emplear deben ser el método estático ó el método cinemático. (ver 7.- Métodos de levantamiento).

Pero sin duda los mejores equipos para realizar este tipo de trabajos topográficos, son los que han sido diseñados expresamente para esto, como la estación total GPS, de Trimble, que utiliza el método Cinemático en tiempo real, RTK (Real Time Kinematic), con lo que se pueden obtener precisiones del 2 cm. + 2 ppm, en tiempo real (de manera instantánea, sin necesidad de un postprocesamiento de los datos, como en los demás métodos de levantamiento), con tan solo unos segundos de posicionamiento por punto.

Se debe contar con al menos un punto con coordenadas conocidas (precisas), que se encuentre en el área de trabajo, se recomienda que se cuente con 2 o más puntos de control, y que estos puntos estén relacionados entre sí, esto es, que se conozcan los vectores entre ellos, estos vectores deben configurar una red con geometría adecuada, y estar ajustados estadísticamente por el método de mínimos cuadrados. (ver Apéndice A. Establecimiento de una línea de control).

En caso de no existir puntos de control en el área de trabajo, estos se deben establecer mediante un levantamiento estático, con equipos de doble frecuencia, y ligados a la Red Geodésica Nacional Activa, ó a la RGNP. Para mayor información consultar los capítulos: 9.5- Utilización de la información de la RGNA, 9.8.- Red Geodésica Nacional Pasiva (RGNP), y el Apéndice A. Establecimiento de una línea de control.

Procedimiento.

- 1).- Se coloca un equipo GPS sobre el punto de coordenadas conocidas (al que se le llama receptor base o de referencia), este receptor permanecerá grabando información durante todo el tiempo que dure el levantamiento, si se cuenta con más receptores, se recomienda colocar otro equipo sobre otro punto con coordenadas conocidas, (esto conforma una línea-base), esto tiene como finalidad, que un posible caso de que una de las base fallara, no se pierda todo el trabajo realizado, además

con el empleo de 2 receptores de referencia la precisión de los puntos aumenta, porque cada punto es medido desde 2 puntos diferentes (se conocen 2 vectores por cada punto).

2).- Uno o más receptores móviles (también llamados rovers), posicionan los puntos en el área de trabajo, llámese, barrenos, puntos de avance, caminos, o cualquier rasgo que deba ser medido.

Los métodos mas usados son el estático, donde cada rover posiciona cada punto por al menos 30 min. Y el método cinemático, en este método el primer punto se posiciona con 30 min., los puntos restantes se posicionan 2 min. cada uno, y se finaliza (el ultimo punto) con nuevamente 30 min. Para mayor información ver el capitulo 7.- Métodos de levantamiento.

3).- La información recolectada es transferida a una computadora para ser procesada y ajustada estadísticamente, mediante sus respectivos programas diseñados para esto.

4).- Finalmente esta información (los puntos con sus respectivas coordenadas) puede ser convertida a un archivo DXF, e importada por programas de dibujo como AutoCad, ó por programas especializados, donde es posible dibujar el desarrollo de la mina, ubicación de los barrenos, calcular los volúmenes de extracción, calculo de reservas, etc.

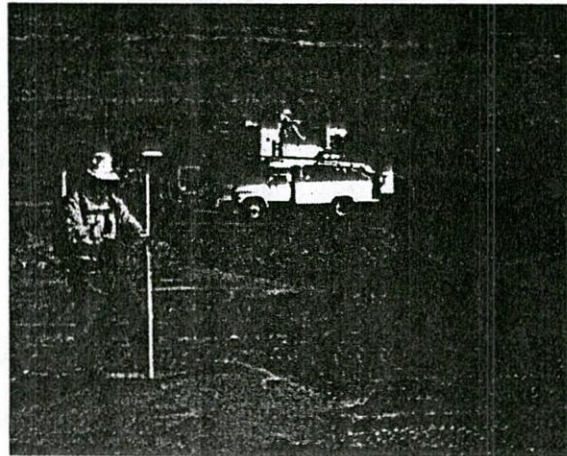


Figura 10.4

10.6.- Aplicaciones GIS.

Como se sabe los Sistemas de Información Geográfica (GIS), son sistemas que manejan bases de datos, los cuales tienen dos aspectos importantes, uno es el geográfico que es el aspecto espacial y el otro es la información que se refiere a los atributos de los mismos. Esta información primeramente debe ser capturada, posteriormente analizada, para así obtener una representación espacial de ciertas características de la realidad, para un propósito particular.

El GIS puede ser usado para medir y monitoriar factores ambientales, mapear ciertas características geográficas para sus análisis, o para modelar ciertas características específicas.

Los datos pueden ser capturados de varias fuentes, entre las más comunes se tienen: digitalización de mapas, fotogrametría, sensores remotos, técnicas tradicionales de levantamientos, notas de campo y GPS.

Los equipos GPS son capaces de grabar estos 2 tipos de datos y exportarlos a GIS.

Datos cartográficos.- Estos tienen una localización (coordenadas), y pueden ser puntos, líneas, arcos y polígonos.

Datos no-cartográficos.- Estos describen una característica (atributo), estos pueden ser valores numéricos, o caracteres que describen una característica.

En geología estos atributos pueden ser: tipo y edad de rocas, Formaciones, tipos de yacimientos, localidades de fósiles, epicentros de sismos, rumbo y echado de fallas.

En uso de equipo GPS para coleccionar datos, provee una posición precisa de puntos, líneas (arcos), y áreas (polígonos), esta información junto con sus atributos, es capturada digitalmente en campo, evitando posibles errores de transcripción y con el consiguiente ahorro de tiempo. Esta información es almacenada en un formato que fácilmente puede ser exportado a un gran número de formatos para ser importados desde varios programas.

Además si es necesario actualizar los datos o checar cierto puntos, utilizando la capacidad de navegación de los GPS, se puede ir de una manera fácil y rápida a los puntos en cuestión.

Para este tipo de aplicaciones se pueden utilizar equipos portátiles que cuenten con la capacidad de almacenar este tipo de datos y exportarlos a GIS, si se requiere una mayor precisión se pueden utilizar el procedimiento descrito en 10.2 Exploración y Cartografía.

10.7.- Medición de puntos de control para catastro minero.

El GPS es una excelente herramienta para determinar las coordenadas de los puntos de control (P.C.), de lotes mineros, solamente se necesita poner un receptor GPS sobre el punto de control, dejarlo grabar 1 hr. con esto es posible obtener una precisión de aproximadamente 30 m. (ver 7.5.- Operación autónoma), que es mucho mejor las viejas técnicas de orientación astronómicas.

Para realizar una liga con un lote vecino, sólo es necesario hacer un levantamiento diferencial (también llamada translocalización), para esto se coloca un receptor en cada uno de los puntos de control, y se toman datos simultáneamente por 1 hora, (método estático), transferir los datos a una computadora y postprocesarlos para obtener la distancia y el rumbo entre los puntos de control, con una precisión del orden de centímetros a milímetros dependiendo del equipo que se utilice.

Al utilizar equipos GPS, a diferencia de los métodos tradicionales, no se necesita visibilidad entre estaciones, ni abrir líneas de visual, los accidentes topográficos del área no representan ningún problema, y de manera general el GPS no depende de las condiciones atmosféricas, todo esto da como resultado, además de la gran precisión de sus medidas, un ahorro de tiempo y de recursos.

Desafortunadamente por desconocimiento de tecnología GPS (relativamente nueva), o por otro tipo de problemas de diversa índole (técnico, jurídico, presupuestario). se han mal utilizado o subutilizado esta tecnología en el catastro minero ocasionado una serie de problemas.

BIBLIOTECA DEPTO. GEOLOGIA

Afortunadamente con el cambio de sistema Geodésico de referencia en México, y según lo dispuesto en las Reformas y Adiciones a las Normas Técnicas para Levantamientos Geodésicos, publicadas en el Diario Oficial de la Federación, el lunes 27 de abril de 1998, permitirá utilizar plenamente la capacidad de la tecnología GPS, lo que permitirá realizar una cartografía minera más precisa y confiable, así como resolver o evitar los problemas que se han venido presentando por el hecho de referenciar levantamientos GPS altamente precisos a un marco poco preciso como es el NAD27.

Para lograr esto se necesita modificar o actualizar la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en Materia minera publicado en Diario Oficial de la Federación de fecha 27 de septiembre de 1990. El Instructivo para la ejecución de trabajos periciales, publicado en el Diario Oficial de la Federación de fecha 7 de diciembre de 1990, así como del Manual de servicios en Materia Minera publicada en el Diario Oficial de la Federación el día 8 de abril de 1993. Además se deberá actualizar (transformar) toda la cartografía minera que actualmente se encuentra referida al NAD27, al nuevo Sistema Geodésico de Referencia ITRF92 época 1988.0.

En la opinión del autor cuando se utilicen equipos GPS para determinar las coordenadas de los puntos de control, en la medida de lo posible, no se deberán utilizar levantamientos autónomos. Estos levantamientos deberán ser diferenciales y ligados a la Red Geodésica Nacional Activa, Red Geodésica Nacional Pasiva ó a la Subred Geodésica Minera (utilizando las coordenadas en ITRF). El tipo de receptores GPS, precisiones y metodología a utilizar deberá estar de acuerdo a lo estipulado en las Reformas y Adiciones a las Normas Técnicas para Levantamientos Geodésicos, publicadas en el Diario Oficial de la Federación, el lunes 27 de abril de 1998.

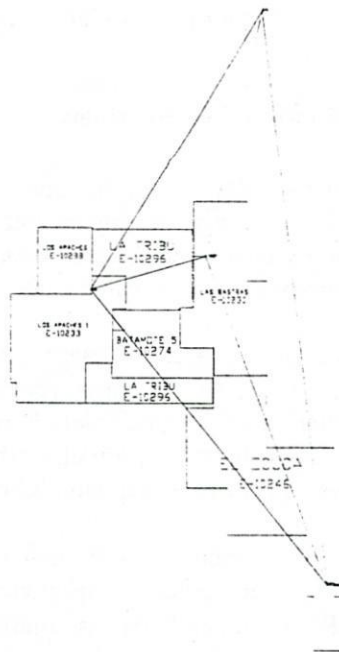


Figura 10.5

10.8.- Control fotogramétrico.

Cuando se obtiene una fotografía aérea, el eje principal de la cámara no es exactamente vertical y la altura de vuelo no es exactamente conocida, ni el terreno es plano ni completamente horizontal, debido a esto la fotografía aérea no es un producto confiable para hacer mediciones y por lo tanto la imagen perspectiva debe ser transformada a una proyección ortogonal. Por lo cual se emplean métodos de rectificación y restitución fotográfica, para obtener ortofotos y ortofotomapas a escala deseada.

Para hacer esta restitución se necesitan contar con puntos reconocibles en el terreno (generalmente cruces de cal o tela), con coordenadas conocidas previas a la toma de las fotos. El GPS es una herramienta ideal para determinar las coordenadas de estas cruces.

Procedimiento.

Se debe contar con al menos 1 receptor GPS de doble frecuencia, cada cruz se posiciona utilizando el método estático, grabando información por lo menos por 1 hr., este posicionamiento debe ser ligado a una o más estaciones de la Red Geodésica Nacional Activa, mediante un proceso diferencial, y ajustado estadísticamente. (ver Apéndice A. Establecimiento de una línea de control).

Si se cuenta con más receptores GPS es recomendable medir todos los vectores entre las cruces, mediante sesiones estáticas de 1 hr., y ajustarlos conjuntamente (en una sola red), por mínimos cuadrados. Con esto se asegura un excelente control terrestre. Esto se puede hacer también con una combinación de equipos de una frecuencia y de doble frecuencia, por ejemplo si se necesita conocer las coordenadas de 10 cruces, 2 de estas pueden ser medidas con equipo de doble frecuencia ligándolas a las estaciones fijas de la RGNA, y las 8 restantes pueden ser medidas a partir de estas 2 cruces, con equipos de una frecuencia (que son más baratos) mediante sesiones estáticas de 1 hr.



Figura 10.6

10.9.- Movimiento de placas tectónicas

En la actualidad las únicas técnicas disponibles de igual o mayor precisión que el GPS, son las basadas en interferometría de bases muy largas (VLBI), y medición láser a satélites, las cuales se basan en métodos y equipos mas refinados y caros. La tecnología GPS puede ser empleada en estudios de deformación regional o global de la corteza terrestre y de efectos geodinámicos.

Con receptores GPS se pueden realizar levantamientos de alta precisión, con los cuales es posible medir desplazamientos muy pequeños tanto horizontales como verticales (hundimientos), por esta razón el uso de tecnología GPS es ideal para monitoriar el movimiento de fallas, o de placas tectónicas. Como generalmente estos desplazamientos son muy pequeños (centímetros por año), es necesario medir estos desplazamientos con precisiones de orden AA o A. Ver tabla 10.7

ORDEN		CLASE	EXACTITUD RELATIVA
AA		UNICA	1: 100 000 000
A		UNICA	1: 10 000 000
B		UNICA	1: 1 000 000
C	PRIMERO	UNICA	1: 100 000
	SEGUNDO	I	1: 50 000
		II	1: 20 000
	TERCERO	I	1: 10 000
		II	1: 5 000

Tabla 10.7

Es decir con una precisión de 1: 100 000 000, significa tener un error de 1 cm. en un vector de 1 000 km., o lo que es lo mismo 1 mm. en un vector de 100 km.

Líneamientos generales para levantamientos GPS.²⁸

1.- Este tipo de levantamientos de alta precisión deben ser determinados a partir (ligados) de puntos geodésicos de igual o mayor precisión, de acuerdo a los estándares geométricos de precisión. Ver tabla 10.8

ESTANDARES GEOMETRICOS DE PRECISION	AA	A	B	1°	C 2°	3°
Numero mínimo de estaciones de control de la Red Geodésica horizontal que se deben ligar:						
AA	4					
A	2	3				
B	2	2	3			
C						
1°	1	1	1	2		
2°	1	1	1	1	2	
3°	1	1	1	1	1	1

²⁸ Modificado de: Reformas y Adiciones a las Normas Tecnicas para Levantamientos Geodesicos. Diario Oficial de la Federacion. Lunes 27 de abril de 1998

Ligas a la Red Geodésica Vertical	5	4	3	2	opcional	opcional
Número mínimo de estaciones de monitoreo continuo (RGNA) o Fiducial I	4	3	2	opcional	opcional	opcional
Localización de las estaciones de control (número de cuadrantes)	2	2	2	1	no aplicable	no aplicable
Separación entre estaciones (Km.) existentes fuera del área de proyecto y el límite del área del mismo.	3000	500	400	5	no aplicable	no aplicable
Separación entre estaciones (Km.) existentes y el centro del proyecto a no más de:	100d	10d	7d	d/5	no aplicable	no aplicable

d = Distancia máxima en Km., entre el centro del área del proyecto y cualquier estación de este.

Tabla 10.8



- 2.- Identificación de los puntos que conformaran el proyecto, (estaciones de la RGNA, Fiducial I, puntos de control a determinar).
 - 3.- Realizar una etapa de reconocimiento con el objeto de identificar posibles obstrucciones que afecte la correcta recepción de las señales de los satélites.
 - 4.- monumentación de los puntos nuevos, los cuales deberán constituir de una mojonera con una placa metálica, ubicada de tal manera que asegure su preservación, esta puede ser subterránea, colocada en una iglesia, escuela o edificio publico.
 - 5.- Se deben utilizar invariablemente equipos de doble frecuencia.
 - 6.- Se deberá utilizar el método estático. Se sugiere utilizar un intervalo de grabación de 15 seg., que es con el que graban las estaciones fijas de la RGNA.
 - 7.- La mascara de elevación para la grabación de datos deberá ser de 15 grados.
 - 8.- En tanto sea posible, la antena deberá instalarse de tal manera de minimizar los efectos de rebote (multicamino) de las señales electromagnéticas. En lo general se deberán evitar instalaciones, estructuras u otros cuerpos cercanos que pueden causar interferencia en la señal.
- La antena también podrá instalarse en un monumento que tenga adaptación para la misma o sobre una baliza y cuando sea necesario sobre elevarla deberá hacerse con un dispositivo que la mantenga perfectamente vertical sobre la marca de estación.
- 9.- Se deberán evitar levantamientos en áreas en donde se produzcan transmisiones radiales de frecuencia media, estaciones de microondas, antenas de transmisión de alta potencia, transformadores de alta tensión, sitios en que se produzca una alta interferencia causada por los sistemas de ignición vehicular y líneas de conducción eléctrica de alto voltaje.
 - 10.- Se deberá hacer una planeación adecuada de las sesiones a medir, utilizando para esto un programa de planeación, como por ejemplo Mission Planning de la marca Ashtech, esto con el objeto de determinar la mejor ventana de medición, esto es, el intervalo de tiempo en que para todos los puntos involucrados en la medición se tenga un PDOP menor a 5 y se cuente con un mínimo de 4 satélite comunes.

11.- El tipo de equipo, número de sesiones, el tiempo mínimo de medición por sesión, observaciones meteorológicas, número de veces que se debe medir la altura de la antena por sesión, y número de receptores GPS que participan en la medición simultánea, dependiendo del orden del levantamiento pueden observarse en la tabla 10.9., y el orden de las estaciones a las cuales se debe referenciar puede observarse en la tabla 10.8.

ORDEN	CLASE	TIPO DE EQUIPO	NUMERO MÍNIMO DE SESIONES	TIEMPO DE MEDIDA/SESION (HRS.)	NUMERO DE OBSERVACIONES METEOROLOGICAS POR SESION	NUMERO DE MEDICIONES DE ALTURA DE ANTENA/SESION	NUMERO MINIMO DE RECEPTORES EN MEDICION SIMULTANEA
AA	UNICA	D.F.	6	6	3	3	6
A	UNICA	D.F.	3	4	3	3	5
B	UNICA	D.F.	2	2 a 3	2	2	3
C							
Primero	UNICA	OP.	1	1 a 2	1	2	3
Segundo	I	OP.	1	1 a 2	-	1	2
	II	OP.	1	1 a 2	-	1	2
Tercero	I	OP.	1	1 a 2	-	1	2
	II	OP.	1	1 a 2	-	1	2

D.F. = Doble frecuencia.

OP. = Opcional el uso de doble frecuencia.

Tabla 10.9

12.- Una vez realizada la medición esta deberá ser procesada diferencialmente para obtener los vectores entre todas las estaciones involucradas, utilizando para esto programas específicamente diseñados para este fin, ejemplo el programa GPPS de Ashtech, para lo cual se deberán utilizar según el orden del levantamiento el tipo de efemérides mostradas en la tabla 10.10

ORDEN	CLASE	EXACTITUD RELATIVA	P.P.M.	EFEMERIDES BASE/CALCULO	ERROR BASE (EN CMS.)
AA	UNICA	1: 100 000 000	0.01	PRECISAS	0.3
A	UNICA	1: 10 000 000	0.1	PRECISAS	0.5
B	UNICA	1: 1 000 000	1.0	TRANSMITIDAS	0.8
C					
Primero	UNICA	1: 100 000	10.0	TRANSMITIDAS	1.0
Segundo	I	1: 50 000	20.0	TRANSMITIDAS	2.0
	II	1: 20 000	50.0	TRANSMITIDAS	3.0
Tercero	I	1: 10 000	100.0	TRANSMITIDAS	5.0
	II	1: 5000	100.0	TRANSMITIDAS	5.0

Tabla 10.10

13.- Una vez generados todos los vectores de la sesión(es), estos deben ser ajustados estadísticamente por el método de mínimos cuadrados, con un nivel de confianza del 95 %, para lo cual se deberán utilizar programas como Geolab, o Prism de Ashtech, por mencionar algunos.

14.- Las coordenadas cartesianas deben ser referidas al Sistema Geodésico de Referencia ITRF92 época 1988.0, y se deberán transformar a coordenadas geodésicas curvilíneas (latitud, longitud, y altura elipsoidal) en el elipsoide GRS80. Un ejemplo de procesamiento y ajuste estadístico de información GPS puede observarse en el Apéndice A Establecimiento de una línea de control azimutal con GPS, utilizando la Red Geodésica Nacional Activa.

15.- Se deberá generar un reporte escrito lo mas completo que se pueda, que incluya toda la información pertinente como: objetivos del estudio, métodos y equipos utilizados, procedimiento, fecha de realización, programas utilizados, y resultados obtenidos. Además se deberá tener un respaldo magnético, tanto de la información cruda GPS, como de la información obtenida en el proceso y así como del ajuste.

Adicionalmente para poder determinar el movimiento de fallas o de la corteza es necesario hacer este tipo de levantamientos en intervalos regulares de tiempo, meses o años. Por ejemplo para realizar levantamientos de orden A es necesario ligarse a cuando menos 3 estaciones de orden A (como lo indica la tabla 10.8), en este sentido es importante recordar que México cuenta con la RGNA, compuesta por 14 estaciones fijas de orden A, uniformemente distribuidas en el país, con un radio de cobertura de 500 km., monitoreando información satelital los 365 días del año. Esta red es una excelente infraestructura para realizar este tipo de trabajos.

Cabe hacer notar que desde mayo de 1993, entró en operación la estación fija LPAZ, en la ciudad de La Paz, Baja California Sur, de manera que el INEGI cuenta más de 5 años de información para este punto y el resto de las estaciones fijas, esta información puede ser utilizada para medir la magnitud y el rumbo del desplazamiento de la península de Baja California.

En cuanto a los movimientos verticales, el GPS también puede ser empleado para determinar por ejemplo el hundimiento de estructuras civiles, o el hundimiento de valles (como el de la ciudad de México), producto de la sobre explotación de los acuíferos.

BIBLIOTECA DEPTO.
DE GEOLOGIA

APÉNDICE A

Establecimiento de una línea de control azimutal con GPS, utilizando la Red Geodésica Nacional Activa.

A continuación se describen mediante un ejemplo real los lineamientos (procedimiento) para el establecimiento de una línea de control azimutal, utilizando tecnología GPS, utilizando para esto a la Red Geodésica Nacional Activa, mediante un proceso diferencial (translocalización). Por ejemplo se necesita establecer una línea de control (PTO1- PTO2) en el municipio de Huepac Sonora.

Además de los lineamientos generales para levantamientos GPS, mencionados en el tema 10.9.- Movimiento de placas tectónicas, a continuación se describe el procedimiento técnico a seguir para el establecimiento de dicha línea de control.

1) Planeación.

Primeramente se debe hacer la planeación del levantamiento, para esto se debe utilizar un programa de planeación para calcular la ventana de medición para un día en particular en el cual se pretende llevar a cabo el posicionamiento de la línea en cuestión, cada compañía fabricante de equipos GPS cuentan con sus programas de planeación, en el presente ejemplo se utiliza el Multi-Site Mission Planning ver. 3.0 de Ashtech.

En el módulo Editor de Sitios, se crea un sitio con la siguiente información, nombre de sitio (Huepac), coordenadas aproximadas, altura, y la diferencia en horas con el meridiano de Greenwich (para Sonora son -7 hrs., esto para que los cálculos se obtengan en tiempo local). De la misma manera se crean los sitios para las estaciones fijas de la RGNA, a las cuales se ligará el levantamiento, en este ejemplo se utilizan las estaciones: Her2, Chi3 y Mexi.

Se selecciona simultáneamente los sitios Huepac, Her2, Chi3 y Mexi, esto con el objeto de obtener una ventana de medición simultánea para estos sitios, es decir determinar el periodo de tiempo en el cual se tengan un mínimo de 4 satélites comunes y un PDOP menor de 5, para los sitios en cuestión. Se selecciona también un almanaque reciente (el cual se obtiene de un receptor GPS y el cual no deberá de exceder a 60 días de antigüedad). Finalmente se selecciona la fecha de la posible medición digamos el 1/Nov./97.

Posteriormente se ingresa al módulo Geometric Dilution of Precision en el cual se obtiene una gráfica como la mostrada en la fig. I.

Esta gráfica que tiene en el eje de las abscisas el tiempo local en hrs., y en el eje de las ordenadas se tiene: del lado izquierdo el valor del PDOP, y del lado derecho el número de satélites. La línea que se observa más recta representa el número de satélites disponibles, mientras que la línea que se observa más irregular representa el comportamiento del PDOP, con ayuda de esta gráfica se puede determinar la mejor ventana de medición, que cumpla con un mínimo de 4 satélite y PDOP menor a 5, para el día 1/Nov./97, y para los sitios seleccionados, como se observa en la gráfica la mejor ventana es de las 8:15 a las 12:15 hrs.

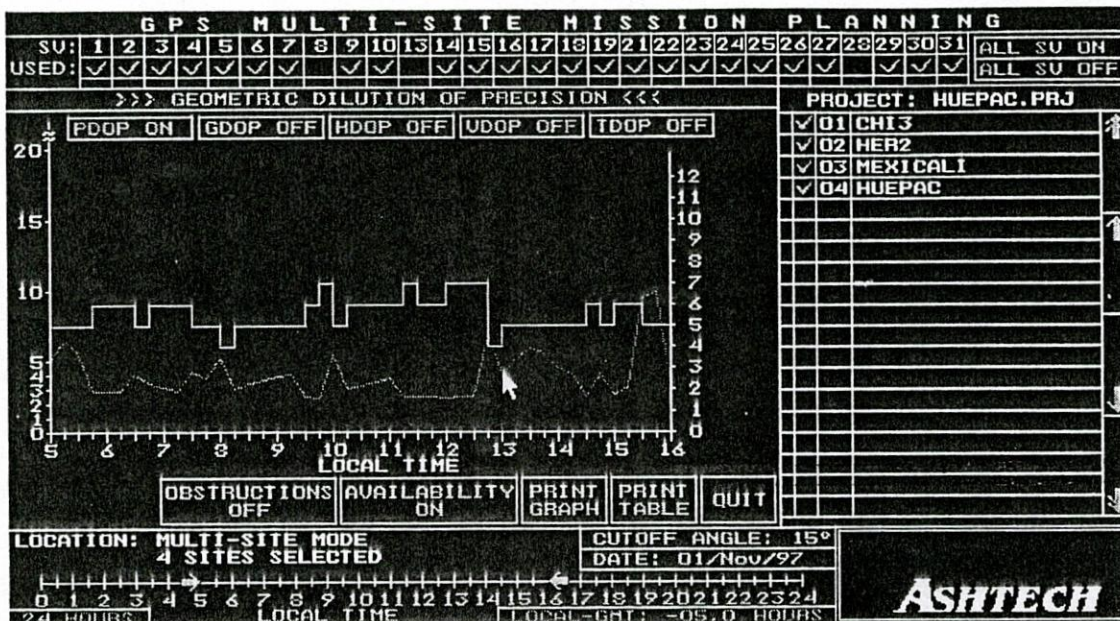


Figura I

2) Posicionamiento.

Previo al posicionamiento se debe de establecer la línea de control azimutal en el campo, la cual consta de 2 placas metálicas empotradas en sus respectivas mojoneras de concreto, la línea debe tener una longitud mínima de 500 m. para evitar problemas en el ajuste. Debe existir intervisibilidad entre las placas (no porque GPS lo necesite, sino para que pueda ser utilizada como línea de partida cuando se utilicen métodos tradicionales de medición como teodolito o estación total). Y lo más importante no deben existir obstrucciones cercanas a la placa como arboles, construcciones, montañas o cualquier cosa que impidan la correcta recepción de la señal de los satélites.

Se realizó el posicionamiento de la línea PTO1-PTO2, utilizando el método estático, el día 1/nov./97, para lo cual se utilizaron 2 receptores GPS de doble frecuencia, marca Ashtech modelo PXII, los cuales grabaron información simultáneamente de las 8:30 a las 11:30, a intervalo de grabación de cada 15 seg.

3) Postproceso.

La información recolectada en los receptores es transferida a un computadora personal, para ser postprocesada junto con la información recolectada el mismo día, a la misma hora por los receptores GPS de las estaciones fijas de Her2, Chi3 y Mexi (la cual se encuentra disponible en los Centros de Información y Venta del INEGI), el programa utilizado fue el Geodetic Post Processing Software (GPPS) versión 5.1 de Ashtech.

En GPPS se selecciona la opción de Autoproceso; posteriormente el tipo de método utilizado en este caso Estático; después se entra en la opción Editar el Archivo de Proyecto en donde se ingresa la altura de la antena, así como el radio de la misma para cada punto, también se especifica cuales puntos son fijos (coordenadas conocidas) y se ingresan sus coordenadas; después se selecciona la opción Editar los parámetros de proceso, en donde se puede entre otras cosas: eliminar satélites, seleccionar el satélite de referencia, eliminar épocas, modificar la mascara de elevación, definir el modo de proceso, de manera general existen 2 métodos de procesamiento:

Modo 1.- Para líneas base cortas de menos de 40 km. de longitud.

Modo 2.- Para líneas base mayores de 40 km. de longitud.

Se selecciona el modo 2, para líneas largas para procesar los vectores entre las estaciones fijas y los puntos PTO1 y PTO2, después se selecciona el modo 1 y se procesa el vector corto (entre los puntos PTO1 y PTO2), por cada vector el programa GPPS genera un archivo de salida (output), llamado archivo de O.

Al terminar de procesar el GPPS entrega un reporte de proceso llamado Summary.out, en donde entre otras cosas se puede observar la distancia (LENGTH); el error medio cuadrático (RMS) de la medición de la distancia; el RATIO que es la razón de búsqueda del entero, un valor de RATIO de 95.0 a 100.0 entregará una solución (SOL) fija (Fixed), con valores menores de 95.0 entregara una solución parcial (Partial). Cuando se proceso en el Modo 2 para líneas mayores de 40 km. el RATIO no esta disponible (N/A) y la solución entregada es flotante (Float).

Una solución fija es mejor que una flotante, y una solución flotante es mejor que una parcial, el valor del RMS debe ser de menor de 10 cm. para vectores largos, y de milímetros para vectores cortos.

Los resultados obtenidos del proceso en GPPS son los siguientes:

PROCESS run on 11/07/1997 at 13:04
LINECOMP Results Are As Follows:

From	To	SESSION	LENGTH	RMS(m)	RATIO	SOL
HER2	PTO1	A	118037.312	0.01752	N/A	Float
HER2	PTO2	A	117274.354	0.01749	N/A	Float
PTO1	CHI3	A	416356.703	0.02610	N/A	Float
PTO1	CULI	A	624944.820	0.02845	N/A	Float
PTO1	MEXI	A	592672.075	0.03133	N/A	Float
PTO2	CHI3	A	417761.055	0.02659	N/A	Float
PTO2	CULI	A	625789.806	0.02896	N/A	Float
PTO2	MEXI	A	591359.356	0.03145	N/A	Float
PTO1	PTO2	A	1419.325	0.00445	100.00	Fixed

Aquí se puede observar la gran precisión que se obtiene con los equipos GPS, por ejemplo el vector entre el punto PTO1 y la estación fija CHI3 tiene una distancia de mas de 416 km. y el error en la medición de esta distancia es tal solo de 2.6 cm. En el vector corto (distancia entre el PTO1 y el PTO2) mide 1419.32 m. y el error en la medición de esta distancia es de 4.45 mm. Esta ultima es una solución fija (fixed), y en los vectores largos la solución es flotante (float).

3) Ajuste por mínimos cuadrados

El ajuste por mínimos cuadrados es un medio para aplicar un control de calidad a las observaciones obtenidas en el posicionamiento (vectores), así como el camino para determinar las coordenadas definitivas de los puntos procesados. Todo esto mediante el procesamiento de un conjunto redundante de observaciones, de acuerdo con reglas matemáticas bien definidas y con apoyo de pruebas estadísticas, con lo anterior se pueden detectar posibles errores. En este ejemplo se utilizó el programa Geolab version 2.4d.

En el modulo GPSEnvironment, se crea una *Red* de ajuste seleccionando un directorio y un nombre para la red, posteriormente se ingresan (leen) los vectores a ajustar. Se le indica al programa cuales coordenadas deben ser consideradas fijas, en este caso los puntos fijos (de referencia), son las estaciones fijas de la RGNA. El tipo de proyección plana deseada, por ejemplo Universal Transversa de Mercator (UTM). Y finalmente el elipsoide de referencia a utilizar, en este caso se utilizó el ITRF92.

En el modulo Geolab2, se realiza el ajuste de la red, es recomendable primero realizar un ajuste libre (mínimamente restringido), es decir fijar solamente un punto con coordenadas conocidas (Latitud, Longitud y altura elipsoidal), esto es como propagar coordenadas, en donde se pueden identificar vectores con problemas, los cuales podrán ser reprocesados o eliminados, además se pueden identificar problemas como puntos con nombre diferente y la misma posición, o puntos con el mismo nombre y posiciones diferentes.

Posteriormente se realiza un ajuste fijo (restringido), en el cual se deben fijar 2 o más puntos con coordenadas conocidas (estaciones fijas), este ajuste determinará las coordenadas definitivas de los puntos que integran la red. El programa al finalizar el proceso despliega una gráfica donde el error horizontal es representado como una elipse y el error vertical por un vector, (ver fig. II), nota: la escala de las elipses de error no es la real, es mas bien para facilidad de interpretación.

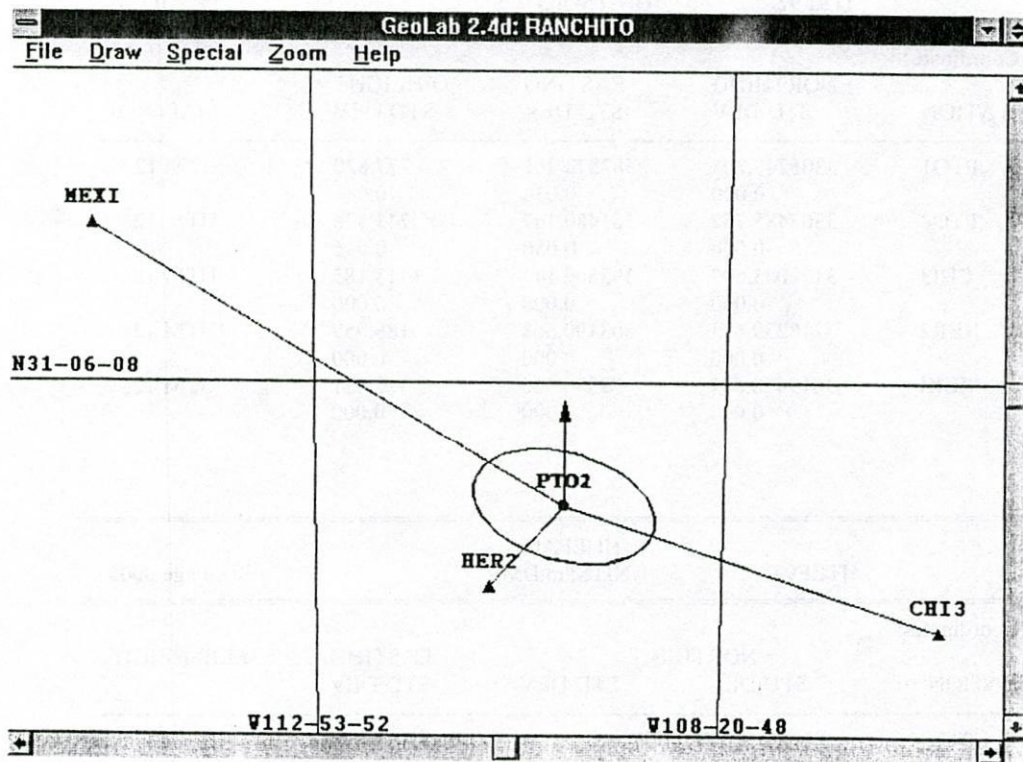


Figura II

Además el programa genera varios archivos, entre ellos el mas importante es el de extensión LST, el cual es un archivo de texto que contiene toda la información del ajuste, el cual debe ser analizado para determinar si existen problemas, y la solución a tomar como reprocesar, agregar o eliminar vectores, y en caso extremo volver a posicionar.

A continuación se describen las 8 secciones de que consta el archivo LST, utilizando el mismo ejemplo.

1) La primera sección muestra los parámetros conocidos y desconocidos y los parámetros de procesamiento.

2) La sección de Misclosure (cierre), muestra la diferencia en metros entre la línea (vector) obtenida en el proceso en GPPS y la calculada en la primera iteración del ajuste.

3) Sección de correcciones, diferencia entre las coordenadas de la iteración actual y las coordenadas calculadas en la iteración anterior.

4) Coordenadas ajustadas (UTM y Geográficas) obtenidas de la aplicación del método de mínimos cuadrados a las observaciones tridimensionales del levantamiento, así como su desviación estándar. Este ajuste genera solo una coordenada en cada componente (x,y,z), para cada sitio, obteniéndose el valor más probable basado en el algoritmo de mínimos cuadrados.

GeoLab V2.4c		ITRF92	HUEPAC UNITS: m,DMS			Page 0004
Adjusted NEO Coordinates:						
CODE	FFF	STATION	NORTHING STD DEV	EASTING STD DEV	O-HEIGHT STD DEV	MAPPROJ
NEO	000	PTO1	3305247.204 0.020	582878.261 0.030	777.820 0.046	UTM 12
NEO	000	PTO2	3305485.762 0.020	581480.167 0.030	743.876 0.046	UTM 12
NEO	111	CHI3	3171043.597 0.000	393806.144 0.000	1413.185 0.000	UTM 13
NEO	111	HER2	3218239.673 0.000	503190.668 0.000	186.959 0.000	UTM 12
NEO	111	MEXI	3619458.685 0.000	79996.526 0.000	-22.421 0.000	UTM 12

GeoLab V2.4c		ITRF92	HUEPAC UNITS: m,DMS			Page 0005
Adjusted PLH Coordinates:						
CODE	FFF	STATION	NORTHING STD DEV	EASTING STD DEV	ELIP-HEIGHT STD DEV	
PLH	000	PTO1	N 29 52 30.11497 0.020	W110 0830.41384 0.030	777.820 0.046	
PLH	000	PTO2	N 29 52 38.20071 0.020	W110 09 22.46286 0.030	743.876 0.046	
PLH	111	CHI3	N 28 39 43.89732 0.000	W106 05 12.25225 0.000	1413.185 0.000	
PLH	111	HER2	N 29 05 33.17336 0.000	W110 58 1.96439 0.000	186.959 0.000	
PLH	111	MEXI	N 32 37 58.76806 0.000	W115 28 32.51529 0.000	-22.421 0.000	

5) Sección de residuales, residual estandarizado y ppm. En esta sección se muestra las componentes diferenciales (dx, dy, dz) y la desviación estándar para cada vector; el residual para cada componente y la desviación estándar del residual; el residual escandalizado y las partes por millón (ppm) del componente.

Un componente de un vector aparecerá abanderado (marcado) cuando el valor en la columna residual estandarizado sea mayor al valor obtenido por la prueba estadística Tau-Max, identificando que pueden existir problemas en ese vector.

GeoLab V2.4c		ITRF92		HUEPAC UNITS: m,DMS		Page 0007
Residuals (critical value = 2.845):						
TYPE AT	FROM	TO	OBSERVATION STD DEV	RESIDUAL STD DEV	STD RES PPM	
GROUP: O003004A.305,obs#: 1 day 305						
DXCT	PTO1	PTO2	-1258.54520 0.004	0.000 0.000	0.058 0.01	
DYCT	PTO1	PTO2	625.25660 0.007	0.000 0.001	0.078 0.04	
DZCT	PTO1	PTO2	199.00400 0.005	-0.000 0.001	-0.012 0.01	
GROUP: O003EXIA.305,obs#: 2 day 305						
DXCT	PTO1	MEXI	-406353.47720 0.091	0.035 0.087	0.402 0.06	
DYCT	PTO1	MEXI	343546.97120 0.175	0.166 0.169	0.983 0.28	
DZCT	PTO1	MEXI	260983.75250 0.062	0.015 0.060	0.253 0.03	

etc...

6) Histograma de residuales. Representa la distribución de los residuales, estadísticamente los residuales fuera de la campana de GAUSS son errores no aleatorios, pero pueden ser equivocaciones o errores sistemáticos. Así pues, se pueden identificar errores en las observaciones.

GeoLab V2.4d		ITRF92		HUEPAC UNITS: m,DMS		Page 0008
--------------	--	--------	--	------------------------	--	-----------

BIBLIOTECA DEPTO.
DE GEOLOGIA

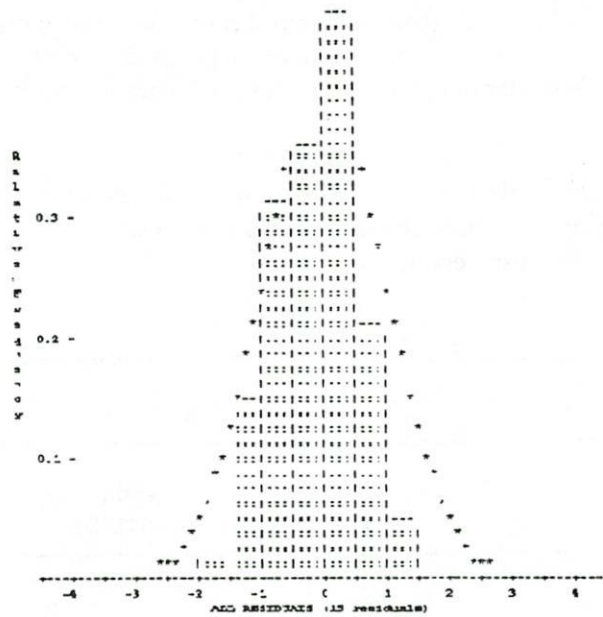


Figura III

7) Resumen estadístico. Esta sección muestra valores y pruebas estadísticas para analizar el ajuste.

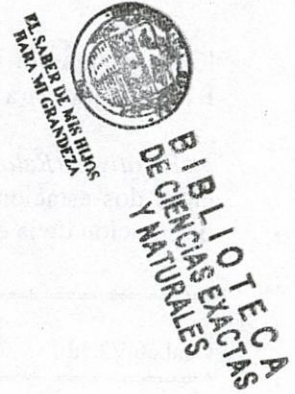
STATISTICS SUMMARY

Residual Critical Value Type	Chi Max
Residual Critical Value	2.5616
Number of Flagged Residuals	0
Convergence Criterion	0.0010
Final Iteration Counter Value	2
Confidence Level Used	95.0000
Estimated Variance Factor	11.1724
Number of Degrees of Freedom	9

Chi-Square Test on the Variance Factor:

5.2859e+00 < 1.0000 < 3.7236e+01 ?

***** THE TEST FAILS *****



NOTE: All confidence regions were computed using the following factors:

Variance factor used = 11.1724
 2-D expansion factor = 2.4477

Note that, for relative confidence regions, precisions are computed from the ratio of the major semi-axis and the spatial distance between the two stations.

Aquí se identifica:

La prueba estadística utilizada para el cálculo del valor crítico del residual estandarizado, además de su valor; por default se utiliza la prueba Tau-Max.

El número de residuales marcados, los cuales pueden identificar vectores malos.

El criterio de convergencia determina junto con el número máximo de iteraciones cuando debe parar el proceso de ajuste.

El número de iteraciones identifica la última realizada en el ajuste.

El factor de varianza estimado, el cual estadísticamente debe ser cercano a 1. Cuando el factor de varianza no se acerque a 1, no es decisivo para juzgar un levantamiento como incorrecto (esto se observa en levantamientos de líneas de control donde existe poco redundancia y se forma una sola figura como un triángulo o cuadrado).

El número de grados de libertad, que representa el número de observaciones redundantes en el ajuste.

En la parte inferior se encuentra el recuadro de la prueba de chi-cuadrada sobre el factor de varianza, la cual puede fallar o tener éxito. Generalmente cuando el factor de varianza no es cercano a 1 la prueba falla.

8) Regiones de confianza.

a) *Puntuales (Station Confidence Regions)*. Están dadas por las componentes de una elipse, semieje mayor y semieje menor, además del error vertical de la estación y el acimut de la elipse. Este valor de la elipse (en metros) representa el error puntual en posición para cada estación (punto).

HUEPAC					
GeoLab V2.4d	ITRF92	UNITS: m.DMS		Page 0011	
2-D and 1-D Station Confidence Regions (95.000 percent):					
STATION	MAJOR SEMI-AXIS	AZ	MINOR SEMI-AXIS	VERTICAL	
PTO1	0.076	106	0.046	0.090	
PTO2	0.076	106	0.046	0.090	

En este ejemplo se observa que el error máximo horizontal en la posición tanto para el punto PTO1, como para el PTO2 es de 7.6 cm. y el error en la vertical es de 9 cm.

b) *Relatives (Relative Station Confidence Regions)*. Aquí se observan la elipse de error de un vector entre dos estaciones representadas por el semieje mayor y el semieje menor; el error vertical, la orientación de la elipse, la distancia del vector y sus ppm.

GeoLab V2.4d		ITRF92		HUEPAC		Page 0012	
				UNITS: m.DMS			
2-D and 1-D Relative Station Confidence Regions (95.000 percent):							
FROM	TO	MAJ-SEMI	AZ	MIN-SEMI	VERTICAL	DISTANCE	PPM
PTO1	PTO2	0.010	173	0.007	0.017	1419.325	6.79
PTO1	CHI3	0.076	106	0.046	0.090	416356.72	0.18
PTO1	HER2	0.076	106	0.046	0.090	118037.32	0.65
PTO1	MEXI	0.076	106	0.046	0.090	592672.15	0.13
PTO2	CHI3	0.076	106	0.046	0.090	417761.07	0.18
PTO2	HER2	0.076	106	0.046	0.090	117274.36	0.65
PTO2	MEXI	0.076	106	0.046	0.090	591359.44	0.13

17:12:31, Mon Jan 19, 1998

Para convertir ppm a Precision lineal, se divide 1 000 000 / ppm., así se tiene que la precisión para la línea de control azimutal PTO1- PTO2 con una distancia de 1419.325 m. es de 1 : 147 275., mientras que para el vector de PTO1-CHI3 con una distancia de 416 356.72 m. la Precision es de 1 : 5 555 555., Como se observa el tipo de precisiones obtenidas con tecnología GPS son muy superiores a las obtenidas por métodos tradicionales.

GLOSARIO

Acimut, (Azimut).-	Es el ángulo que forma una línea, con dirección Norte-Sur, medido de 0 a 360 grados, a partir del Norte, Y en el sentido de las manecillas del reloj.
Ajuste.-	Es la determinación y aplicación de correcciones a los elementos observados, derivados de los errores propios de las mediciones.
Almanaque.-	Datos transmitidos por un satélite GPS que incluye información orbital de todos los satélites. Especie de efemérides menos precisas, usado para calcular ventanas de medición.
Altitud.-	Es la altura o distancia vertical a que se encuentra un punto de la superficie terrestre con respecto al nivel medio del mar.
Altura elipsoidal.-	Es la altura o distancia vertical a que se encuentra un punto de la superficie terrestre con respecto al elipsoide de referencia.
Ambigüedad.-	Es el numero total de ondas o ciclos que sumados a la fase portadora fraccionaria, harían la medida total del satélite al receptor.
Anti-Spoofing.-	Es la habilidad que tiene el Departamento de la Defensa de apagar o encriptar el código P.
Bancos de nivel.-	Puntos de control de nivelación vertical, cuya elevación con respecto al nivel medio del mar es conocida. Los bancos pueden ser de diferente orden, según el grado de exactitud con que se haya establecido (1, 2 ó 3 orden).
Cierre angular.-	Es la suma teórica de los ángulos interiores o exteriores que definen a un polígono.
Cierre lineal.-	Es la igualdad teórica que resulta del comparativo entre las sumas positivas y negativas de las proyecciones verticales y horizontales calculadas de los lados de un polígono.
Código C/A.-	Código binario, llamado de adquisición burda (Coarse-Adquisition) o estándar, modulado en la frecuencia L1, con frecuencia = 1,023 MHz. el cual repiten los satélites cada milisegundo. También llamado código PRN, cada satélite tiene su único y exclusivo código PRN.
Código P.-	Código binario preciso, para uso militar, y usuarios civiles autorizados, modulado en ambas bandas portadoras (L1 y L2), con frecuencia = 10,23 MHz. y repetido cada 267 días aproximadamente.
Código W.-	Código utilizado para encriptar el código P.
Código Y.-	Es el Código P, pero encriptado, para negar su acceso, Código Y = Código P + Código W.
Coordenadas rectangulares ó UTM.-	Es un sistema de ejes rectangulares denominado cuadrícula UTM. que se utiliza como base para proyectar las coordenadas geodésicas en la realización de los mapas.
Coordenadas cartesianas.-	Llamadas también coordenadas rectilíneas planas, los ejes se cortan perpendicularmente en un punto llamado origen. (x,y,z).

Coordenadas geodésicas.-	Sistema de referencia para la correcta ubicación de los elementos en la superficie terrestre, sus unidades de medida son angulares, (grados, minutos y segundos), las coordenadas son Latitud, Longitud y Altitud.
Corrección troposférica.-	Corrección aplicada a la medición con GPS, para resolver el retraso que sufre la señal al atravesar la Tropósfera. Este valor se obtiene a partir del modelo modificado de Hopfield.
Datum.-	Posición o referencia para los levantamientos, definidos por la latitud y longitud de una estación seleccionada y el acimut entre esta estación y otra de referencia.
Disponibilidad Selectiva (SA).-	Selective Availability, error intencional enviado por el Departamento de la Defensa de los Estados Unidos, el cual degrada la posición de un receptor hasta 100 m.
Efecto Doppler.-	Cambio que experimenta la frecuencia de las ondas sonoras luminosas o de radio, cuando la fuente que las emite, se acerca o aleja del observador.
Efemérides.-	Mensaje modulado en la portadora, que contiene información de las órbitas, correcciones del reloj y salud de los satélites, con frecuencia = 50 Hz.
Elipse de error.-	Aquella que tiene como semieje mayor, el error medio posicional máximo, y como semieje menor el mínimo.
Elipsoide.-	Elipse de revolución, alrededor del eje menor, que representa la forma geométrica regular de la tierra, que se ha adoptado como la más conveniente para los cálculos matemáticos.
Elipsoide de Clarke.-	Elipsoide calculado por dicho matemático británico, en 1866, cuyas dimensiones son: semieje mayor = 6 378 206,4 m. y semieje menor = 6 356 583,8 m.
Época.-	Época es el instante del evento, intervalo es el tiempo entre dos épocas; los receptores continuamente reciben las señales de los satélites pero solamente graban información a intervalos fijos que se conocen como épocas. por ejemplo cada 15 seg.
Error.-	Diferencia entre el valor observado de una cantidad y el valor real de esa misma cantidad. Existen diferentes tipos de errores, y pueden deberse tanto a fallas del observador, como al grado de precisión de los instrumentos utilizados.
Error medio cuadrático.-	Cantidad cuyo cuadrado es igual a la media de los cuadrados, de los errores verdaderos individuales de una serie de observaciones.
Fiducial 1.-	Estación de orden AA establecida por medio de observaciones VLBI, SLR o G.P.S.
Geodesia.-	Es la ciencia que determina los métodos de medición y cálculo para la representación gráfica de la superficie parcial o total de la Tierra en cuanto a forma, tamaño y masa.
Geoide.-	Forma teórica del globo terrestre que sirve de base a la Geodesia y que se obtiene admitiendo como superficie del mismo la del nivel medio del mar prolongada por debajo de los continentes.
GLONASS.-	Sistema Global de Navegación Satelitar, de la Federación Rusa., igual que el GPS pero ruso.
GPS.-	(Global Positioning System). Sistema de Posicionamiento Global.

Greenwich.-	Lugar de Inglaterra donde se ubica el observatorio por donde pasa el meridiano origen de las medidas de longitud y tiempo universal.
GRS80.-	Sistema Global de Referencia de 1980, propuesto por la Asociación Internacional de Geodesia en forma dinámica, geocéntrico y tridimensional.
IERS.-	Servicio Internacional de Rotación de la Tierra.
INEGI.-	Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.
Intervalo.-	Tiempo transcurrido entre dos épocas, medido en unidades de cualquier escala de tiempo.
Intervisibilidad.-	Prueba de visibilidad de dos estaciones en ambos sentidos.
Ionósfera.-	Capa superior a la mesosfera, fuertemente ionizada, donde se reflejan las ondas hertzianas, esta capa se extiende de 80 a 650 Kms.
ITRF.-	Marco de Referencia Terrestre Internacional.
L1.-	Una de la dos frecuencias portadoras (Carrier) en que transmiten los satélites GPS, con frecuencia = 1575,42 MHz., Longitud de onda = 19 cm.
L2.-	Una de las dos frecuencias portadoras (Carrier) en que transmiten los satélites GPS, con frecuencia = 1227,60 MHz., Longitud de onda = 24 cm.
Latitud geodésica.-	Es el ángulo formado entre la normal al elipsoide y el plano del Ecuador.
Levantamiento geodésico.-	Es aquel que considera en sus mediciones los efectos de curvatura terrestre. Existen tres tipos de levantamientos geodésicos: horizontales, verticales y gravimétricos.
Línea-base.-	En una cadena de triangulación, la línea que se mide directamente en el terreno con gran precisión y cuya longitud y dirección se toma como arranque para el cálculo de los demás lados de la estructura. Vector resultante entre 2 receptores GPS.
Longitud geodésica.-	Es el ángulo formado entre el meridiano de referencia (Greenwich) y el meridiano que pasa por el punto en cuestión.
Máscara de elevación.-	Ángulo bajo el que se recomienda no rastrear satélites. Por lo general se ajusta a 15 grados para evitar problemas de interferencia ocasionadas por Multipath.
Meridiano.-	Cualquier semicírculo de la esfera terrestre que va de polo a polo. El primer meridiano internacional es el que pasa por el observatorio de Greenwich, cerca de Londres, y sirve de referencia para la medición de la longitud.
Método de mínimos cuadrados.-	Principio que se aplica en los métodos de compensación para obtener el valor más probable de las incógnitas en un sistema con observaciones super abundantes, se basa en que la suma de los cuadrados de los errores residuales tiene que ser mínima.
Modulación bifásica binaria.-	Cambios de fase de 0 o 180 grados en la señal portadora de frecuencia constante (que representa un binario de 0 o 1, respectivamente). Las señales GPS tienen modulación bifásica.
NAD27.-	Datum Norteamericano de 1927, desarrollado a principios de siglo, basado en el elipsoide de Clarke de 1866, es un Datum horizontal (bidimensional), al cual deben referirse hasta ahora, todos los levantamientos geodésico-topográficos en la República Mexicana.

NAD83.-	Reajuste por mínimos cuadrados del NAD27, que incluyo observaciones Doppler, GPS y VLBI, pero no se incluyeron alturas geodésicas, de manera que permaneció como un Datum horizontal.
NAVSTAR.-	Nombre que recibe la constelación de 24 satélites del Sistema de Posicionamiento Global, de los Estados Unidos.
Normal.-	En geometría significa perpendicular o línea perpendicular.
Paralelos.-	Son líneas imaginarias alrededor de la tierra paralelas al Ecuador.
PDOP.-	Dilación de la precisión de la posición, la geometría que guardan los satélites entre sí, impactan la precisión de los cálculos de posición para el receptor. Tiene un escale de 0 a infinito, se recomienda no medir con valores de PDOP mayores de 6.
Poligonal.-	Superficie de la tierra delimitada en forma de polígono. Conjunto de mediciones topográficas que delimitan, en forma de polígono una superficie terrestre.
Precisión.-	Calidad asociada con el refinamiento de los instrumentos de medición, indicada por el grado de uniformidad en mediciones repetitivas.
PRN.-	Ruido Pseudo Aleatorio (Pseudo-Random-Noise), es el código C/A, cada satélite tiene su propio y único código PRN.
Pseudorange.-	O también llamada Pseudodistancia, la cual es calculada por los receptores, al medir el tiempo de viaje de la señal, debido a que el reloj del satélite y el del receptor no están perfectamente sincronizados.
Receptor de referencia.-	Receptor GPS que se ubica sobre una marca con coordenadas conocidas, para calcular correcciones diferenciales para un DGPS.
Refracción ionosférica.-	Es la desviación (retardo), de las señales electromagnéticas al pasar a través de la Ionósfera, por efecto en la variación en el índice de refracción.
RGN.-	Red Geodésica Nacional, Red de puntos determinados en NAD27, a principios de siglo, cuya precisión en promedio es de 1 15 000. y que hasta el día 27 de abril de 1998, sirvió como marco de referencia para todos los levantamientos geodésico-topográficos del país.
RGNA.-	Red Geodésica Nacional Activa, compuesta por 14 estaciones fijas, cada una con receptor GPS de doble frecuencia, con cubrimiento de 500 km., que graban información satelitar 23 hrs. los 365 días del año, para ser utilizada para procesos diferenciales.
RGNP.-	Red Geodésica Nacional Pasiva, conjunto de más de 12 500 pares de puntos GPS intervisibles entre sí, con precisión mínima de 1 : 50 000, establecidos en el programa PROCEDE.
RINEX.-	(Receiver Independent Exchange Format). Formato estándar de archivos GPS, para promover el libre intercambio de información GPS independientemente de la marca del equipo o software.

Rover.-	Receptor alternativo que se encuentra en movimiento o estático, realizando uno o más posicionamientos en una área determinada, mientras otro receptor (referencia) se encuentra sobre una marca con coordenadas conocidas, grabando información simultáneamente, para la realización de un DGPS.
RTCM.-	Estándar internacional para el envío y recepción de correcciones diferenciales GPS, creado por Radio Technical Commission for Maritime Services (Comisión radio-técnica para servicios marítimos).
RTK.-	Método cinemático en tiempo real, (Real Time Kinematic).
Salto de ciclo.-	Es una pérdida de ciclo, creada por una discontinuidad en la cuenta del número de ciclos en la medición de la fase de la portadora, producida por una pérdida temporal de la señal en el receptor.
SEMIP.-	Secretaria de Energía Minas e Industria Paraestatal.
Señal portadora (carrier).-	Onda de radio que tiene cuando menos una característica (como frecuencia, amplitud, fase), que se puede modular a partir de un valor de referencia conocido.
SGM.-	Subred Geodésica Minera, Red de 320 puntos de control, con línea base, establecidos en la República Mexicana, con equipos GPS, con el objeto de simplificar los trabajos periciales.
SLR.-	Medición láser a satélites.
SNMM.-	Abreviatura de Sobre el Nivel Medio del Mar.
SV	Spacial Vehicule, vehículo espacial ó vehículo satelitar.
Tiempo universal.-	Hora media local solar en el meridiano de Greenwich.
Transformación de coordenadas.-	Conversión de coordenadas de un sistema a otro y viceversa, por ejemplo de coordenadas UTM a geodésicas, ó de un sistema de referencia a otro, por ejemplo de NAD27 a NAD83, NAD27 a ITRF92 etc.
Translocalización.-	Es la técnica de corrección diferencial (DGPS), mediante la cual se puede determinar con mayor precisión, la posición de uno o más puntos, partiendo de un punto conocido, con coordenadas bien definidas. Mediante el uso de 2 o más receptores GPS rastreando simultáneamente un mínimo de 4 satélites, uno de los receptores mide sobre un punto con coordenadas conocidas.
Triangulación.-	Método clásico para el desarrollo de los levantamientos geodésicos horizontales mediante un procedimiento que determina la longitud de los lados de un sistema de triángulos interconectados, con base en la medida de algunos lados y todos los ángulos.
Trilateración a satélites.-	Método para determinar la posición de un receptor sobre la tierra mediante la medición de la distancia entre el receptor y un mínimo de 4 satélites.
Trilateración.-	Método de levantamiento geodésico horizontal mediante el cual se miden directamente los lados de una triangulación y de ahí se derivan los valores angulares, pero para el control de dirección se requiere la medida de algunos ángulos. Determinación de la distancia entre un receptor y un satélite GPS.



**BIBLIOTECA
DE CIENCIAS EXACTAS
Y NATURALES**

EL SABER DE MIS HIJOS
HARA MI GRANDEZA

Tropósfera.-	Zona inferior de la atmósfera donde se desarrollan los cambios y/o fenómenos meteorológicos, tales como: condensación, lluvia, nieve, y algunos fenómenos eléctricos.
UTC.-	Tiempo universal coordinado; Sistema de tiempo atómico uniforme que se mantiene muy cercano al UT2 (tiempo universal corregido por movimiento polar y variaciones en la velocidad de rotación de la Tierra). El tiempo GPS se relaciona directamente al UTC.
Vector.	Línea recta que contiene un sentido, una dirección y una magnitud.
Ventana de medición.-	Periodo de tiempo en donde se cumplen ciertas características para medir con equipos GPS, como: un mínimo de 4 satélites y un PDOP menor de 6, esto para un día y lugar determinado.
Vertical del lugar.-	La dirección en la que actúa la fuerza de gravedad.
VLBI.-	Interferometría de bases muy largas.
WGS84.-	Sistema Geodésico Mundial de 1984, definido en forma dinámica, es tridimensional, y es el sistema en el que esta basado el GPS.

BIBLIOGRAFÍA

- BIBLIOTECA DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
- Actualizaciones al Procesamiento y ajuste de Información GPS. Dirección de cartografía Catastral. INEGI. Octubre, 1995. Programa PROCEDE. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Aguascalientes, México.
 - Alvarez G. G., Soler T. y Hothem L. D. Diferencias NAD83 Vs ITRF en la cartografía topográfica sobre la frontera México-EUA. Revista vértices. Enero-Abril 1994, Num. 4. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Aguascalientes, México
 - Cartula, S. 1987. Sistema de posicionamiento global GPS. Madrid, España. Ministerio de Obras Publicas y Urbanismo, Instituto Geográfico Nacional.
 - Geolab user's guide 1993. Publicado por Geosurv Inc. Ottawa, Ontario Canada. © BitWise Ideas inc.
 - GPS Curso de Capacitación Avanzado, octubre 1992. Aguascalientes, México. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Aguascalientes, México.
 - GPTrans software User's Guide 1995, GPSURVEY Software, Trimble Navigation Ltd. Sunnyvale, CA. U.S.A.
 - Hernández, N.A. 1993. ¿Es necesario cambiar de sistema geodésico de referencia en México? Revista vértices. Septiembre-Diciembre 1993. Núm. 3., Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Aguascalientes, México.
 - Hernández, N.A. 1994. ITRF Vs NAD27. Revista vértices. Enero-Abril 1994. Num. 4. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Aguascalientes, México.
 - Hernández, N. A. y Bugarín G. A. M. 1995. ¿Reponer, Reajustar o Transformar?. Revista vértices. Enero-junio 1995, Num. 7. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Aguascalientes, México.
 - Hofmann W. B., Lichtenegger H. y Collins J. Global Positioning System, Theory and Practice, segunda edición, editorial Springer-Verlag, New York, E.U. 1993.
 - Hurn, J. 1989. A Guide to the Next Utility. Trimble Navigation Limited.
 - Hurn, J. 1993. Diferencial GPS Explained. Trimble Navigation Limited.
 - Instructivo complementario de los trabajos periciales. Dirección General de Minas. Dirección de Catastro Minero. México D. F. 29 de mayo de 1996.
 - Instructivo de procesamiento y ajuste de información geodésica. INEGI. 1994. Programa PROCEDE, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Aguascalientes, México.
 - INTERNET, <http://www.trimble.com/gps>

- La Nueva Red Geodésica Nacional: Tecnología de Vanguardia. INEGI. 1995. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Aguascalientes, México.

- La Nueva Red Geodésica Nacional. Una visión hacia el futuro. INEGI. 1994 Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Aguascalientes, México.

- Leick, Alfred. GPS, DGPS & GLONASS. Department of Spatial Information, University of Maine, información interna del INEGI 1997.

- Leick, Alfred. Efectividad de GLONASS: Calidad de las observaciones y Actualización del Sistema. Department of Spatial Information, University of Maine

- Manual de conceptos básicos. INEGI. 1994. Programa PROCEDE, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Aguascalientes, México

- Manual de la brigada de geodesia. INEGI. 1994. Programa PROCEDE. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Aguascalientes, México

Manual de Servicios al Público en Materia Minera. Diario Oficial de la Federación, miércoles 7 de abril de 1993.

- Mijares M. M. 1995. Medición de terrenos ejidales por medio del Sistema de Posicionamiento Global GPS, usado en el programa PROCEDE. Disertación, Universidad de Sonora.

- Montes de Oca. 1985. Topografía. México, DF. Representaciones y Servicios de Ingeniería.

- Operating manual. Ashtech XII GPS Receiver. Ashtech 1991. Ashtech, Inc. Sunnyvale, Ca., E.U.A.,

- Quick Plan/Plan software User's Guide 1995, GPSURVEY Software, Trimble Navigation Ltd. Sunnyvale, CA. U.S.A..

- Recopilación del autor, Información interna del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Programa PROCEDE.

- Reformas y Adiciones a las Normas Técnicas para Levantamientos Geodésicos. Diario Oficial de la Federación, lunes 27 de abril de 1998.

- Reyes, I. M. A. 1994. Sistema de posicionamiento global. Una visión Simplificada. Revista vértices mayo-agosto 1994. Num. 5. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Aguascalientes, México.

- Salin, P. Aspectos Legales y Regulatorios del Futuro Sistema Global de Navegación Satelitar (GNSS) de la Comunidad Internacional. McGill University Institute of Air & Space Law, Canada.

- Subred Geodésica Minera. Diario Oficial de la Federación, lunes 27 de septiembre de 1994.

- Subred Geodésica Minera, Sistema de Posicionamiento Global (GPS). Puntos de control, SEMIP, INEGI. 1995. Estado de Sonora, México.

- Application Guide, Series 4000, Trimble 1995. Surveying & Mapping Division, Trimble navigation limited Sunnyvale, CA. E.U.
- User's Guide 1995, GPSURVEY Software, Trimble Navigation Ltd. Sunnyvale, CA. U.S.A.
- Van Dierendonck A. J. 1995, Understanding GPS receiver terminology: a tutorial, Revista GPS World, January 1995, E.U.
- Wave software User's Guide 1995, GPSURVEY Software, Trimble Navigation Ltd. Sunnyvale, CA. U.S.A.
- Zakatov P.S. Curso de Geodesia Superior. Editorial MIR, 1981, URSS.

