

2



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

"ESTABLECIMIENTO DE UNA ESTACION DE
REFERENCIA GEODESICA PERMANENTE
EN LA FACULTAD DE INGENIERIA"

T E S I S
PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO TOPOGRAFO Y GEODESTA
P R E S E N T A:

ERIK MAURICIO COLOMBO VILLAFUERTE



ASESOR DE TESIS:
M. I. RAYMUNDO ARVIZU DIAZ

MEXICO, D. F.

2002

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
FING/DCTG/SEAC/UTIT/ 111/02

Señor
ERICK MAURICIO COLOMBO VILLAFUERTE
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M.I. **RAYMUNDO ARVIZU DÍAZ**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tema de tesis de su examen profesional de **INGENIERO TOPÓGRAFO Y GEODESTA**.

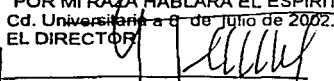
"ESTABLECIMIENTO DE UNA ESTACIÓN DE REFERENCIA GEODÉSICA PERMANENTE EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA"

- INTRODUCCIÓN**
- I. RED GEODÉSICA NACIONAL ACTIVA**
 - II. ESTACIÓN DE REFERENCIA DE OPERACIÓN CONTINUA**
 - III. EQUIPOS PARA EL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL**
 - IV. INFRAESTRUCTURA REQUERIDA**
 - V. OPERACIÓN DE LA ESTACIÓN DE REFERENCIA**
 - VI. APLICACIÓN Y SERVICIOS**
 - VII. CONCLUSIONES**

Ruego a ustedes cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo les recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberán prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitario a 6 de Julio de 2002.
EL DIRECTOR


M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO
GFB/GMP/mstg.

REVISIÓN DE TESIS




Vo. Bo. M. en I. Raymundo Arvizu Díaz.




Vo. Bo. Ing. Adolfo Reyes Pizano.



Vo. Bo. Ing. Benito Gómez Daza.



Vo. Bo. José Luis Higuera Moreno.



Vo. Bo. Ing. Guadalupe González.

AGRADECIMIENTOS

Hoy que cumpla una de mis metas en la vida, siento la necesidad de agradecer a todas las personas que contribuyeron conmigo de alguna manera para lograrlo.

Primeramente a Dios por el simple hecho de dejarme existir.

A la Universidad y a la Facultad de Ingeniería por darme la oportunidad de estudiar.

A mi Mama Guillermina por su amor, regaños, apoyo y comprensión a lo largo de mi vida y mis estudios, por ser mi sostén moral por que gracias a esos detalles puedo valorar la vida.

A mi Abuela Virginia (q.e.p.d) por sus consejos y su cariño hoy cumpla con algo que ella quería y anhelaba ver.

A mi Hermana Alejandra por su apoyo.

A todos los profesores de la Facultad de Ingeniería, en especial a los Ingenieros Raymundo Arvizu, Benito Gómez, Adolfo Reyes, José Luis Higuera, Guadalupe González, Ubertino González, Víctor Robles y Víctor Mozo, por compartir conmigo sus experiencias y conocimientos.

A mis amigos Felipe, Abraham, Ricardo, Carlos, Yazmín, Alonso, Ana, Lizhet, Arturo, Karina, Julio y otros mas con los cuales compartí muchos de mis mejores momentos en la facultad y me brindaron su sincera amistad y apoyo y si omití alguno de mis amigos no se ofenda son los nervios.

A todos mis Compañeros de la facultad y de la carrera por compartir conmigo un poco de su ser durante mi estancia en la misma.

A toda y cada una de las personas antes citadas muchas gracias.

ÍNDICE

ÍNDICE

CONTENIDO	PAG.
INTRODUCCIÓN.....	2
CAPITULO I. RED GEODÉSICA NACIONAL ACTIVA.	
I.1. Antecedentes Históricos.....	6
I.2 Datum Norteamericano de 1927 (NAD27).....	7
I.2.1 Redefinición del NAD 27.....	8
I.3. El Cambio a un Nuevo Sistema de Referencia Geodésico los Motivos.....	9
I.4 El Actual Sistema de Referencia Geodésico.....	10
I.5 La Red Geodesica Nacional Activa.....	11
I.5.1 Establecimiento de las Estaciones de Referencia.....	11
I.5.2 Operación de la Red Geodésica Nacional Activa.....	16
CAPITULO II. ESTACIÓN DE REFERENCIA DE OPERACIÓN CONTINUA.	
II.1. Que es una Estación de Referencia de Operación Continua.....	20
II.1.1 Las Estaciones Permanentes GPS.....	22
II.1.2 Las Estaciones Permanentes Activas GPS.....	23
II.2 El Sistema de Posicionamiento Global GPS.....	23
II.2.1 Antecedentes del Programa GPS.....	23
II.3 Descripción General del Sistema GPS.....	24
II.3.1 La Solución Geométrica.....	24
II.3.2 Las Pseudodistancias.....	25
II.3.3 La Medida de Fase.....	26
II.4 Constitución del sistema GPS.....	26
II.4.1 Componentes de la Señal.....	26
II.4.2 Segmento Espacial.....	27
II.4.3 Segmento de Control.....	28
II.4.4 Segmento de Usuario.....	29
II.5 Características de la Señal GPS.....	30
II.5.1 Código.....	31
II.5.2 Fase Portadora.....	31
II.5.3 Mensaje de Navegación.....	32
II.5.4 Amplificación de las Señales.....	32
CAPITULO III. EQUIPOS PARA EL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL.	
III.1 Los Receptores GPS.....	34
III.1.1 Precisión en las Mediciones GPS.....	35
III.2 Los Equipos GPS (CORS).....	36
CAPITULO IV. INFRAESTRUCTURA REQUERIDA.	
IV.1 Selección del Emplazamiento.....	51
IV.1.1 Ubicación de la Antena.....	52
IV.2 Análisis de Edificios.....	52
IV.2.1 Facultad de Ingeniería Edificio A.....	52

IV.2.2 Facultad de Ingeniería Edificio B.....	53
IV.2.3 Conclusión.....	54
IV.3 Requerimientos Básicos.....	54
IV.3.1 Monumentación.....	54
IV.3.2 Suministro Eléctrico.....	57
IV.3.3 Comunicaciones.....	57
IV.3.4 Seguridad.....	58
IV.3.5 Liga de la Estación de Referencia.....	58
IV.4 Equipo y Personal Requerido.....	59
IV.4.1 Hardware.....	59
IV.4.2 Software.....	59
IV.4.3 Personal.....	60
IV.4.4 Diagrama de Conexión de la Estación y la PC.....	61

CAPITULO V. OPERACIÓN DE LA ESTACIÓN DE REFERENCIA.

V.1 Métodos de Posicionamiento.....	64
V.1.1 Posicionamiento Absoluto.....	64
V.1.2 Posicionamiento Relativo.....	64
V.2 Errores.....	67
V.2.1 Errores Relativos al Satélite.....	68
V.2.2 Errores Relativos a la Propagación de la Señal.....	68
V.2.3 Errores Relativos al Receptor.....	69
V.3 Estructura de los Archivos.....	69
V.4 Pruebas y Resultados con el GPS SR 399.....	70
V.4.1 Organización del Proyecto de Prueba.....	71
V.4.2 Metodología.....	71
V.4.3 Resultados.....	72
V.4.4 Conclusión.....	80

CAPITULO VI. APLICACIÓN Y SERVICIOS.

VI.1 Aplicaciones y Tendencias.....	83
VI.1.1 Otras Aplicaciones.....	84
VI.1.2 Tendencias.....	85
VI.2 Servicios a Usuarios.....	86
VI.2.1 Ejemplos.....	86

CAPITULO VII. CONCLUSIONES.....

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.....

ANEXOS.....

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

La Geodesia en su aspecto práctico, materializa puntos en el terreno y les asigna coordenadas, que sirven de apoyo para posteriores trabajos de levantamiento. Antiguamente, las coordenadas de los puntos de apoyo se obtenían por el método de triangulación, para el cual era necesario medir ángulos en vértices de triángulos (materializados por los citados puntos de apoyo) y lados en los extremos de la cadena de triangulación. La resolución de los triángulos y su posterior compensación daban por resultados las coordenadas de sus vértices.

Con la aparición de la medición GPS, aparece una nueva herramienta de trabajo para el campo de la Geodesia y la Topografía. Las mediciones GPS diferenciales con receptores precisos permiten obtener la posición del punto de apoyo con una precisión estimada tres veces superior a la obtenida por el método de triangulación y en un tiempo corto de medición. Actualmente, nos encontramos con el desarrollo y la aplicación de dicho sistema en todos los sectores posibles, bajo las más diversas condiciones y con una amplia variedad de resultados.

Los últimos avances de este sistema en aplicaciones Cartográficas y GIS apuntan hacia la ampliación de estaciones GPS de carácter permanente, la utilización de un solo equipo en campo y el desarrollo del tiempo real, combinado con la mejora de las precisiones obtenidas en las medidas y el aumento de la fiabilidad de los resultados.

En este trabajo se da a conocer los fundamentos para establecer una estación geodesica de referencia en la facultad, no pretendo profundizar en el mismo, ya que existen bastas fuentes de información sobre el tema, así que solo pretendo exponer los aspectos mas relevantes, para los interesados en este campo.

Por tal motivo en este trabajo expongo en forma breve y concisa los antecedentes, el funcionamiento, la infraestructura, los equipos y las aplicaciones que pueden brindarnos los equipos GPS cuando son utilizados en la modalidad de estaciones de referencia activas.

Una Estación Permanente GPS está constituida por un receptor GPS que capta datos satelitales en forma continua (las 24 horas del día durante todo el año), claro esta que los datos se recaban y manipulan en una PC con su respectivo software.

El presente trabajo prácticamente es un proyecto que se tiene que tomar en cuenta para beneficio de la carrera de Ingeniero Topógrafo y Geodesta, y para la misma comunidad de la Facultad y como todo proyecto debe cumplir con ciertos lineamientos que se tratan dentro de los capitulos de este trabajo de forma implicita, a continuación comentare *la justificación de este proyecto.*

¿Por que nos interesa el establecimiento de una estación de referencia en la facultad? por que en el ramo de la Ingeniería Topográfica y Geodesica esta clase de sistemas nos brinda, la posibilidad de usar la estación para tareas y servicios múltiples a usuarios de la UNAM y de otras instituciones que requieran datos GPS. En la actualidad se han desarrollado técnicas GPS para lograr exactitud topográfica y geodésica. Estas son conocidas como técnicas diferenciales o métodos de posicionamiento relativo. Esto es, que es posible conocer con gran exactitud la diferencias de coordenadas entre dos o más receptores. El principio se basa en la suposición de que en ambos extremos de una línea los errores de las órbitas de los satélites son iguales. En este caso, los mismos satélites tienen que ser usados en los extremos de la línea a medir. Además, mediante el uso de receptores que captan las dos frecuencias de transmisión de las señales, los errores debidos a la ionosfera pueden eliminarse. En cuanto a la troposfera esta es considerada mediante el uso de modelos atmosféricos adecuados. Mediante el uso de estas técnicas, se

Introducción

pueden lograr precisiones menores a 1 m, y dependiendo del tipo de procesamiento y equipo se puede llegar a precisiones del cm, incluso de mm.

Algunas de las ventajas que nos presentan estos equipos GPS son:

1. Alta precisión en el posicionamiento en tres dimensiones.
2. Significativo aumento en la productividad.
3. Alcance global.
4. La constitución de la constelación, asegura la captación de al menos cuatro satélites en cualquier parte del globo terráqueo, durante las veinticuatro horas del día.
5. Independencia completa con respecto a las condiciones meteorológicas. A diferencia de los métodos convencionales (ejemplo, la triangulación), donde se requiere de condiciones favorables para las observaciones, las determinaciones GPS pueden transcurrir en tiempo nublado, lluvioso, bajo nevadas y tormentas eléctricas moderadas.
6. Disponibilidad continua para un grupo ilimitado de usuarios. Esta cualidad se debe al carácter pasivo del sistema.
7. Posibilidad de brindar el tiempo con alta precisión. El tiempo generado en los relojes atómicos del satélite y transmitido al usuario, al contar con una alta precisión y estabilidad 10-13 s, constituye un marco temporal de referencia idóneo para diversas aplicaciones científico-técnicas.
8. Resistencia a la interferencia. Esta característica se refiere, tanto a sus mejores cualidades ante la influencia ionosférica, como al peligro de interferencia o engaño electrónico con fines militares.

Comentado lo anterior como la justificación del proyecto debemos tener en cuenta también, que este proyecto cuenta con los objetivos, las acciones, los recursos, la estrategia, los responsables y las metas para la puesta en marcha de la estación, los cuales están contenidos en forma implícita en los capítulos IV, V, VI y VII.

Ahora platiquemos un poco de los antecedentes históricos del origen del Sistema de Posicionamiento Global así como algunas de sus aplicaciones, este empieza de forma técnica en la navegación (del latín *navis* navío que significa conducir). El hombre ya manejaba nociones básicas de posicionamiento desde la época prehistórica, basándose en los astros y puntos de referencia que le eran familiares de acuerdo a su percepción. Pero necesitaría desarrollar un sistema de posicionamiento para desplazarse como consecuencia de la necesidad de establecer rutas y de igual forma poder evitar accidentes.

Los aportes técnicos en la navegación para el desarrollo de los sistemas de posicionamiento son varios, entre los que se destaca la brújula inventada por los Chinos en el año 1000 D.C junto con las cartas de navegación, los instrumentos de navegación basados en la astronomía (la brújula, el sextante y el back staff) y los sistemas de coordenadas realizados en Europa en los siglos XIV y XV.

Recientemente se a producido un gran cambio en los últimos 30 años con el desarrollo de la era espacial. A finales de la década de los setenta (siglo XX) los EEUU lanzan los primeros prototipos de sistemas de satélites NAVSTAR/GPS (*Navigation System with Time and Ranging / Global Positioning System*). Esto a provocado un gran cambio en el sistema de convenciones y posicionamiento ha nivel global. Su uso se a popularizado en varias áreas gracias a su sencillez en el manejo y confiabilidad en las mediciones.

Su funcionamiento consiste en medir el tiempo de viaje de las señales transmitidas por los satélites a un receptor (medición de las ondas de luz). Conociendo la distancia a cuatro satélites y utilizando métodos de triangulación los receptores pueden calcular las coordenadas o posiciones de un punto.

Introducción

Las aplicaciones de la técnica GPS en Topografía y Geodesia, son amplias:

- Levantamientos con GPS en tiempo real para fotografías aéreas
- Control de calidad de puntos geodésicos
- Ubicación de puntos de muestreo, para fines cartográficos.
- Monitoreo y deformaciones como deslizamientos, desplazamiento de fallas, y retrocesos glaciales, etc.

La localización determinar una posición y la navegación obtener una posición a partir de la anterior siempre han sido tareas cruciales para las actividades del ser humano a través de los tiempos. y estos métodos han sido siempre complicados. Los trabajos de topografía son muy variados y la habilidad del profesional esta en combinar distintos métodos según sea el caso. Las nuevas metodologías aportan mas rapidez, seguridad y en algunos casos confianza en la precisión de los resultados. Pero, por ejemplo el GPS ha revolucionado la forma en que podemos relevar, replantear y hasta georeferenciar las entidades de terreno pero no reemplaza a los métodos clásicos en algunos tipos de trabajo.

En trabajos urbanos, el GPS se ve limitado por las obstrucciones, por lo que se podrá usar para generar Bases (puntos fijos de apoyo) en zonas libres de grandes obstrucciones al cielo o incluso árboles. Aquí, la estación Total (o un teodolito y la cinta) son la estrella del trabajo.

En nivelaciones de precisión, nada mejor la nivelación geométrica. Las nuevas tecnologías se basan y acompañan a la topografía clásica. Un buen estudio de geotopocartografía debe contar con todo, la clásica y la moderna. La combinación de todo el instrumental en función de las tolerancias del trabajo definen el mejor método (relación beneficio costo).

La utilización de los satélites de la constelación NAVSTAR con técnicas GPS ha abierto en las Ciencias Geográficas un inmenso abanico de posibilidades, al permitir situar puntos, con grandes precisiones, en aplicaciones geodésicas y topográficas, y precisiones ampliamente satisfactorias para navegación en tiempo real por tierra, mar y aire.

Los primeros intentos modernos fueron buscar un mecanismo de localización por medio de ondas electromagnéticas, basándose en el principio básico de calcular distancias en base al tiempo de travesía de la señal y la velocidad de la luz, a través de antenas transmisoras de corto alcance. Estos métodos, a pesar de ser aproximados, tenían una gran desventaja, la cobertura era limitada. Al buscarse otros intervalos de frecuencias en los cuales la propagación de las ondas electromagnéticas fuera aún mejor, se perfeccionaron los niveles de aproximación, pero aún la cobertura seguía siendo limitada.

No fue sino hasta principios de la década del 70 cuando el Departamento de Defensa de Estados Unidos comenzó a diseñar un nuevo proyecto de localización mundial por medio de tecnología satelital. Con un presupuesto de 12 mil millones de dólares se inicia el proyecto y en 1978 se lanza el primero de un total de 24 satélites de órbita media de la constelación llamada NAVSTAR GPS. La idea era tener a estos satélites como puntos de referencia para calcular posiciones latitud, longitud y altitud.

CAPITULO I
RED GEODESICA NACIONAL ACTIVA

RED GEODESICA NACIONAL ACTIVA

El Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), en cumplimiento de las atribuciones que le confiere la Ley de Información Estadística y Geográfica para normar y desarrollar la captación, generación y difusión de información relativa a su ámbito de competencia, en febrero de 1993 puso en operación el proyecto denominado RED GEODESICA NACIONAL ACTIVA (RGNA), con la finalidad de producir información geodésica a partir de un marco de referencia uniforme y confiable, acorde con las precisiones que proporcionan los modernos equipos de posicionamiento vía satélite del sistema de posicionamiento global (GPS), por sus siglas en inglés.

Esta red constituye la estructura básica de referenciación geodésica para el país, y la integran 14 puntos distribuidos estratégicamente en el territorio nacional, los cuales fueron establecidos físicamente mediante monumentos permanentes, donde se han hecho mediciones de precisión de acuerdo con estándares internacionales, para definir sus coordenadas. Con el advenimiento y operación de la RGNA, el INEGI, con base en la información que captan las 14 estaciones fijas y con trabajos de campo, densifica la Red Geodésica Nacional.

Esta red actualmente la integran un conjunto de aproximadamente 60 mil vértices geodésicos situados sobre el terreno, materializados a través de monumentos permanentes en los cuales se han hecho observaciones directas con equipos GPS, obteniéndose de ellos sus respectivas coordenadas referidas al ITRF92 época 1988.0, cuyo elipsoide asociado es el GRS80, el cual define un marco geocéntrico de referencia, lo que constituye un sistema de referenciación natural para el posicionamiento realizado por métodos satelitales.

I.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

A lo largo del tiempo histórico en México, se han llevado a efecto diversos trabajos orientados a la determinación de la forma y dimensiones del territorio nacional, cuya expresión se materializa en la construcción de documentos cartográficos. Dichos trabajos han dado origen a la construcción de cadenas geodesicas materializadas como puntos sobre el terreno, con mayores o menores densidades de cobertura y conformando con ello la Red Geodesica Nacional, cuyas normas Técnicas para Levantamientos Geodésicos publicadas en el Diario Oficial de la Federación de 11 de abril de 1985, se define como el *"conjunto de puntos situados sobre el terreno, dentro del ámbito del territorio nacional, establecido físicamente mediante monumentos permanentes, sobre los cuales se han hecho medidas directas y de apoyo de parámetros físicos, que permiten su interconexión y la determinación de su posición y altura, así como el campo gravimetrica asociado, en relación con un sistema de referencia dado"*.

En una muy breve mención de estos trabajos, se puede hacer referencia a don José Antonio Alzate y su Carta de la Nueva España (1768) , apoyada en las mediciones astronómicas de Joaquín Velásquez, la que posteriormente ayudo a conformar la Carta General de la Nueva España, de mayor precisión, en la que estuvieron incluidas 142 observaciones astronómicas, 36 de ellas realizadas por el Barón Alejandro de Humboldt a principios del siglo XIX.

Con la pérdida de gran parte del territorio nacional como resultado de la guerra con los Estados Unidos de América en 1847, fue necesario delimitar la frontera con este país, trabajo al que se dedico, empleando criterios de posicionamiento astronómico, la Sociedad Mexicana de geografía y Estadística, fundada en 1837.

En el ámbito internacional, se funda en 1864 la Asociación Internacional de Geodesia, organismo al que se adhiere México a finales del siglo, lo que contribuye a la creación, en 1899, de la Comisión Geodesica Mexicana, primera institución nacional con dicho carácter. Esta Comisión introduce en México el conocido y clásico método de triangulación geodesica, empleando entonces para los trabajos de

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

medición del arco de meridiano en los 98° de longitud oeste, en una acción participativa de los gobiernos del Canadá, los Estados Unidos de América y México.

En 1916 se disolvió la Comisión Geodesica Mexicana para dar lugar a la creación de la Dirección de Estudios Geográficos y Climatológicos, posteriormente Dirección de geografía y Meteorología, con el encargo de integrar las áreas dedicadas a la producción geodesica y cartográfica y proceder a la densificación de la Red Geodesica Nacional con triangulaciones de primer orden de precisión.

Al termino de la Segunda Guerra Mundial los Estados Unidos de América susciben acuerdos bilaterales de coordinación y apoyo con 17 países de la región para la elaboración de cartografía integrada, dentro del llamado Programa MAPPLAN, para 1957 los trabajos geodésicos se habían concretado en la medición de varias cadenas de triangulación que aumentaron la densidad de la Red Geodesica Nacional Con unos 600 vértices y 12 determinaciones de acimut Laplace. Esta densificación hizo posible que la Comisión Intersecretarial Coordinadora del Levantamiento de la Carta Topográfica de la Republica Mexicana, fundada en 1955, llevara a buen termino la elaboración de la Carta General de México a la escala de 1:500,000, todavía utilizable.

El Gobierno Federal creo entonces, en 1968, la Comisión de Estudios del Territorio Nacional y planeación (CETENAP), dependencia precursora de la hoy Dirección General de geografía del INEGI, con el encargo inicial de elaborar la cartografía topográfica y de recursos naturales a la escala de 1:50,000.

El INEGI Cuenta ahora con una cartografía topográfica de cubrimiento nacional en las escalas 1:50,000, 1:250,000 y 1:1,000,000 y 1:4,000,000.

A partir de 1975 se principian a emplear en el Instituto los métodos de posicionamiento Doppler, Con lo que se incursiona en el dominio de la geodesia satelital, sin dejar de trabajar concurrentemente en el desarrollo de los trabajos de poligonación. Es en 1990 que el INEGI inicia levantamientos con el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), sistema que por su relativo bajo costo, alta precisión, facilidad de manejo y capacidad de respuesta en tiempos mínimos.

En la actualidad, la Red Geodesica Nacional en lo que respecta a posicionamiento horizontal esta conformada por 779 vértices de triangulación de primer orden, 104 vértices de poligonal geodesica del mismo orden de precisión, 5,111 vértices de poligonal de segundo orden y 223 estaciones Doppler.

I.2 DATUM NORTEAMERICANO DE 1927 (NAD27)

De este modo, el NAD27 tiene su antecedente inmediato en el Datum de Nueva Inglaterra (New England Datum), desarrollado entre 1880 y 1901 con base en uno de los tantos levantamientos efectuados independientemente, dando lugar al denominado United States Standard Datum. Se escogió como punto datum el vértice MEADES RANCH ubicado en el estado de Kansas, determinando su posición geodesica desde la estación PRINCIPIO en el estado de Maryland, perteneciente a la cadena de Nueva Inglaterra. Con el tiempo, se agregaron nuevos levantamientos geodésicos, que terminados de ajustar en 1927, constituyeron un sistema de referencia geodesica único, al que se denomino Datum Norteamericano de 1927, en el Elipsoide de Clarke de 1866.

Los parámetros básicos adoptados para el punto datum (Meades Ranch) del NAD27 fueron:

Semieje mayor del Elipsoide	6,378,206.4 m
Semieje menor del Elipsoide	6,356,583.8 m
Latitud del origen	39° 13' 26.686"
Longitud del origen	98° 32' 30.506"
Desviación de la vertical	
En el meridiano	-1.02"
En el primer vertical	-1.79"
Altura geoidal en el origen	0.00
Acimut del origen a la estación Waldo, medido desde el sur	75° 28' 09.64"

Durante la mayor parte del siglo anterior, México ha desarrollado su información geodesica dentro del marco del Datum Norteamericano de 1927 (NAD27) asociado al Elipsoide de Clarke de 1866, con propósitos mayoritariamente cartográficos. Con ello le fue posible completar cubrimientos en las escalas de representación básicas, particularmente como resultado de la labor desarrollada por el INEGI.

El desarrollo tecnológico característico de nuestra época, con nuevos instrumentos y tecnologías de medición y análisis computacional, ha obligado por otra parte a evolucionar en nuestra 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 el contexto de entornos fisico-dinámicos fundamentales; ha pasado de la bidimensionalidad característica de los sistemas de posicionamiento horizontal, a integrar la dimensión vertical, antes un tanto separada, ya la agregación del elemento temporal como una cuarta dimensión consustancial de los modernos sistemas.

Las técnicas de medición contemporáneas se inscriben ahora en un entorno dinámico-espacial que permite la obtención de resultados extremadamente precisos en tiempos relativamente cortos, en comparación con los métodos tradicionales, lo que representa una significativa ventaja desde los puntos de vista de calidad y oportunidad de la información. nos referimos en particular a los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) que han venido a revolucionar la tecnología de medición geodesica. Sustituyendo ventajosamente a los sistemas de posicionamiento astronómico, triangulación, poligonacion y trilateracion, inclusive los mas recientes de posicionamiento Doppler.

I.2.1 REDEFINICIÓN DEL NAD27

Uno de los objetivos de la redefinición del NAD27 fue el de mejorar la precisión del Sistema, de modo que fuera compatible con el moderno instrumental de medición y con los requerimientos relacionados con la necesidad de disponer de información geodesica de mayor calidad. En este sentido, el reajuste, iniciado en 1974, incluyo cierta cantidad de estaciones Doppler, poligonales medidas con equipo electrónico para determinación de distancias y algunas medidas de interferometria en el sistema VLBI (Very Long Base Interferometry) uno de los mas precisos de los existentes en la actualidad. El proceso incluyo además algunas estaciones del Sistema de Posicionamiento Global (GPS), que en aquel entonces no estaba muy desarrollado y era apenas una novedad. De cualquier manera, la incorporación de los tipos de levantamientos mencionados, que incluyo 1,785,772 observaciones y 266,436 estaciones, dio fuerza al reajuste y permitió obtener resultados satisfactorios, por lo menos en el caso de los Estados Unidos y Canadá, que en la actualidad ya adoptaron el NAD83 como nuevo marco de referencia que sustituye al NAD27.

Por lo tanto el NAD83 es la redefinición del NAD27, pero como este, continua siendo un datum horizontal, ya que en el proceso de reajuste no se consideraron como incógnitas las coordenadas de altura de los puntos. La idea en este sentido es de contar con un sistema tridimensional.

Sin embargo y por otra parte, el NAD83 ya no es un sistema local como en el caso del NAD27.

En este sentido, el NAD83 se encuentra definido en el llamado GRS80 (Sistema geodésico de Referencia de 1980) adoptado y recomendado por la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica, el cual se define en forma dinámica, haciendo coincidir el centro geométrico del elipsoide con el centro de masa de la Tierra, con el agregado de cuatro parámetros básicos:

- a) Semieje mayor del elipsoide (6378137 m)
- b) Velocidad angular terrestre (7292115×10^{-11} rad / seg)
- c) Constante gravitacional newtoniana (3986005×10^8 m³ / seg²)
- d) Factor dinámico en su forma no normalizada J_2 , que representa el achatamiento terrestre sobre el campo gravitacional (108263×10^{-6})

Mediante el empleo de estos parámetros es posible derivar todas las constantes físicas y geométricas que intervienen en los correspondientes cálculos geodésicos.

En México no es conveniente adoptar el NAD83 como opción al cambio del Sistema geodésico de Referencia debido a que no es posible garantizar un mejoramiento sustancial en las posiciones de la Red Geodesica Nacional, en función del hecho de que el reajuste objeto del NAD83 no es lo suficientemente fuerte para su aplicación en el caso mexicano y por la posible persistencia de discrepancias de carácter aleatorio. Se da también la circunstancia de que el NAD83 continua siendo la naturaleza horizontal ante la tendencia mundial de trabajar con sistemas tridimensionales.

I.3 EL CAMBIO A UN NUEVO SISTEMA DE REFERENCIA GEODÉSICO LOS MOTIVOS

Las nuevas tecnologías de posicionamiento, mucho mas precisas y fáciles de operar y capaces de producir resultados en tiempos cortos, no son compatibles con la situación en que se encuentra actualmente la Red Geodesica Nacional en términos de su baja precisión inherente.

El NAD27 ya cumplió con su cometido; permitió el desarrollo de cartografía topográfica a diversas escalas, tanto dentro del INEGI, como de otros organismos oficiales y privados.

Dentro de los programas de envergadura a que hace referencia el párrafo anterior, se encuentra el de Modernización de la Actividad geográfica del INEGI, recientemente puesto en marcha. Dentro de este Programa se contempla el desarrollo del Sistema Nacional de información geográfica de México (SNIGM) con tecnología digital, que entre otros aspectos ha adoptado ya el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) para los trabajos de campo en diferentes proyectos específicos y de apoyo a otras instituciones. Cabe mencionar que la tecnología de GPS tiene su base de referencia geodesica en el WGS84 (Sistema geodésico Mundial de 1984), desarrollado por los Estados Unidos de América en dicho año.

Es posible transformar los datos obtenidos de GPS al NAD27, pero esto equivaldría a referir datos muy buenos en un marco malo.

Resumiendo los motivos que favorecen el cambio del sistema de referencia, se puede decir que:

- a) Las demandas contemporáneas de información geodesica con la calidad requerida por las diversas instancias nacionales, obligan a cambiar el Sistema geodésico de Referencia actualmente en vigencia.
- b) El acceso a las nuevas tecnologías e instrumentación requieren que su empleo se ubique dentro de un marco de referenciación moderno, consistente y compatible en precisión con las mismas.
- c) Nada de esto puede ser satisfecho con el datum actual, por lo que en tal contexto, es necesario el cambio.
- d) El proyecto para desarrollar el Sistema Nacional de información geográfica con tecnología digital dentro del INEGI, así como el Programa de Certificación de Derechos Ejidales y Titulación de Solares Urbanos de la misma Institución, han obligado, por consideraciones de orden técnico que se justifican plenamente, al empleo de la tecnología GPS, la cual tiene su base en un nuevo sistema de referencia modernizado.
- e) La tecnología GPS esta experimentando una amplia aceptación dentro de la comunidad geodesica nacional, con tendencias a incrementarse. Esto implica un cambio de hecho en lo que respecta al nuevo datum o Sistema geodésico de Referencia.
- f) El desarrollo creciente de Sistemas de información geográfica, así como el de Bases de Datos Geográficos asociadas a los mismos, requieren que la ubicación espacial de la información se de con respecto a un marco de referencia mejor del que se dispone al momento.
- g) Finalmente, cabe mencionar la no conveniencia de recurrir al NAD83 como opción al cambio, en consideración a las correcciones que solo son favorables para EE.UU. y Canadá.

I.4 EL ACTUAL SISTEMA DE REFERENCIA GEODÉSICO

Más allá del NAD83 se han desarrollado ya nuevos sistemas, mucho más precisos, basados fundamentalmente en las técnicas de interferometría, mediciones con base láser y GPS, siendo este el más accesible en nuestro medio desde el punto de vista práctico.

Existen en la actualidad varios sistemas de referencia que podrían ser adoptados, muy parecidos entre sí y con diferencias que desde el punto de vista práctico son mínimas, del orden de unos 2 metros en la posición del origen; Además, varios de ellos (NAD83, ITRF92) utilizan el mismo elipsoide de referencia (GRS80).

El datum o marco de referencia para el NAD83 es el GRS80, que como se verá a continuación es prácticamente el mismo que el WGS84, además de constituir el sistema bajo el cual operan los sistemas GPS. En efecto, el WGS84 fue desarrollado por los Estados Unidos de América para el cálculo de las órbitas satelitales, tanto en el Sistema de Satélites de Navegación (NNSS O Sistema TRANSIT), como para el nuevo Sistema GPS Navstar.

Los parámetros que definen el WGS84 son los siguientes:

- a) El semieje mayor del Elipsoide (6378137 m)
- b) La velocidad angular terrestre (7292115×10^{-11} rad/seg)
- c) La constante gravitacional newtoniana (3986005×10^8 m³ / seg²)
- d) El coeficiente zonal armónico normalizado, que también representa el achatamiento terrestre sobre el campo gravitacional (C_{20}) ($-484.16685 \times 10^{-6}$)

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

Las constantes son idénticas a las del GRS80, con una pequeña diferencia respecto al factor dinámico de forma C_{20} que es el segundo coeficiente zonal armónico truncado a 8 cifras, en lugar de la forma no normalizada J_2 del GRS80. Sin embargo, entre ambos sistemas prácticamente no hay diferencia, ya que las longitudes geográficas determinadas en cualquiera de ellos resultan idénticas, mientras que para las latitudes la diferencia máxima es de 0.00003 segundos de arco, equivalentes a 0.1 mm.

En la actualidad, el único estándar disponible de igual o superior precisión que el GPS (y en consecuencia, del WGS84 y GRS80), se apoya en las técnicas de medición por Interferometría de Bases Muy Largas (VLBI) y/o la medición láser satelitaria (SLR o Satellite User Ranging), las cuales se basan en metodologías y equipamiento muy refinados y extremadamente complejos. El Servicio Internacional de Rotación de la Tierra (IERS o International Earth Rotation Service), el cual emplea las tecnologías VLBI y SLR, desarrolló el Sistema de Referencia denominado ITRF92, cuya sigla corresponde a International Earth Rotation Service (IERS) Terrestrial Reference Frame of 1992. Este sistema se obtuvo como resultado de la combinación de varias soluciones globales tridimensionales y fue propuesto como patrón al cual referir todos los trabajos geodésicos.

En adición a ser dinámico por la forma en que será definido, el ITRF92 lo es en el sentido de que varía con el tiempo por pequeños desplazamientos del centro de masa terrestre causados por efectos geodinámicos diversos, lo que en consecuencia da lugar a movimientos comparativos del elipsoide asociado. Esto hace necesario que la forma de expresión vaya acompañada por la especificación del año en que se define la solución, válida para una época dada. Por otra parte, se consideran también los desplazamientos relativos que tienen las estaciones de monitoreo del IERS por movimientos de la corteza terrestre (actividad sísmica, deriva continental).

La mejor opción para México consiste en adoptar el ITRF92 como marco de referencia geodésico. La tendencia mundial es hacia su utilización debido a la rigurosidad con que se ha determinado ya sus posibilidades de empleo en levantamientos y estudios geodésicos de alta precisión.

En consecuencia, el Sistema geodésico de Referencia que se adopta para México es el ITRF92, época 1988.0, en el GRS80; esto es, para la época que se inicia a las 0:00 horas del 1 de enero de 1988.

El ITRF92 al estar asociado al GRS80, y siendo que este es prácticamente igual al WGS84, garantiza la compatibilidad con el NAD83 para los efectos de correspondencia cartográfica a lo largo de la frontera norte, así como con la frontera sur, ya que América Central muy probablemente estará también en el NAD83.

Algunas de las ventajas que se pueden mencionar en relación con la adopción del ITRF92 son:

- a) Muy alta precisión, compatible con los sistemas GPS, debido a la rigurosidad de su determinación.
- b) Por lo tanto, posibilidad de emplearlo para levantamientos de muy alta precisión; por ejemplo, monitoreo de deformaciones en estructuras civiles masivas, movimientos de la corteza terrestre, investigación geodesica básica y aplicada.
- c) Implementación en un plazo relativamente corto.
- d) Constituye una excelente base de apoyo referencial para el desarrollo de cartografía y sistemas de información geográfica.
- e) Al estar definido en forma dinámica y global, no tiene las características de los sistemas locales ni depende de la definición de un punto datum, además de ser tridimensional. Al estar vinculada la tecnología GPS con este sistema, las soluciones de los levantamientos además de muy precisas, serian congruentes y consistentes; prácticamente no existen los errores de propagación.
- f) Permite el desarrollo de la Red Geodesica Nacional Activa, por discutirse en el próximo apartado.

I.5 LA RED GEODÉSICA NACIONAL ACTIVA

Así como anteriormente se trabajaba con el Datum Norteamericano de 1927, materializado en los puntos de la Red Geodesica Nacional con sus respectivas coordenadas, ahora, en las mediciones geodesicas recientes del INEGI, se esta usando el ITRF92, época 1988.0 y el GRS80.

En consecuencia, se decidió establecer una red nacional de estaciones fijas de operación continua, distribuidas a lo largo del territorio nacional, cuya base operativa es el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) lo que hoy se conoce como Red Geodesica Nacional Activa (RGNA), la que responde a un concepto nuevo, de alta desarrollo técnico, el cual, además de en México, solo se encuentra aplicado en algunos países del primer mundo, y que en nuestro caso se constituye como uno de los primeros pasos para el desarrollo de la red geodesica del país en el contexto de la modernización. Esto implicó, dentro de una primera consideración, la necesidad asociada de cambiar el sistema de referencia, necesidad ahora mandataria, ya que el sistema opera, como se ha visto, en el WGS84, íntimamente vinculado con el ITRF92 adoptado.

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 requeridas. En este sentido, la estación ocupada desempeña un papel activo, puesta que ya no solamente se emplean las coordenadas de dicha estación, sino también los datos derivados en ella de las observaciones a los satélites. El resultado es un posicionamiento diferencial relativo de muy alta precisión entre la estación conocida y las nuevas estaciones.

I.5.1 ESTABLECIMIENTO DE LAS ESTACIONES DE REFERENCIA

En relación con las características de la Red Geodesica Nacional Activa, el criterio seguido para el establecimiento de las estaciones, fue asegurar el cubrimiento nacional, de modo que cualquier punto ubicado dentro del área continental mexicana tuviera acceso a la información de por lo menos una estación de la red. Para tales efectos, se determinó un radio de cubrimiento de 500 km² por estación (lo cual significa una extensión territorial de unos 785,000 km²), especificada esta distancia como el

máximo aceptable que permite el procesamiento de las efemérides transmitidas por los satélites con métodos convencionales y software comercial.

Este cubrimiento nacional que puede ser satisfecho un esquema mínimo de 6 estaciones fijas convenientemente localizadas, lo que sin embargo implica cierto riesgo si por cualquier eventualidad alguna de ellas dejara de trabajar en un momento dado, ya que buena parte del país quedaría sin cobertura. Posteriormente se pensó en lo y finalmente se decidió que 14 estaciones fijas, geométricamente bien distribuidas, garantizaría el máximo cubrimiento con redundancia, o dicho de otra manera, el mínimo inconveniente si alguna de ellas viera interrumpida su operación, como se muestra en la fig. 1.

Para los efectos de ubicación, el INEGI aprovecho su infraestructura regional y ubica las estaciones, tanto en la Sede Central en Aguascalientes, como en las instalaciones de las Direcciones Regionales y Coordinaciones Estatales del Instituto.

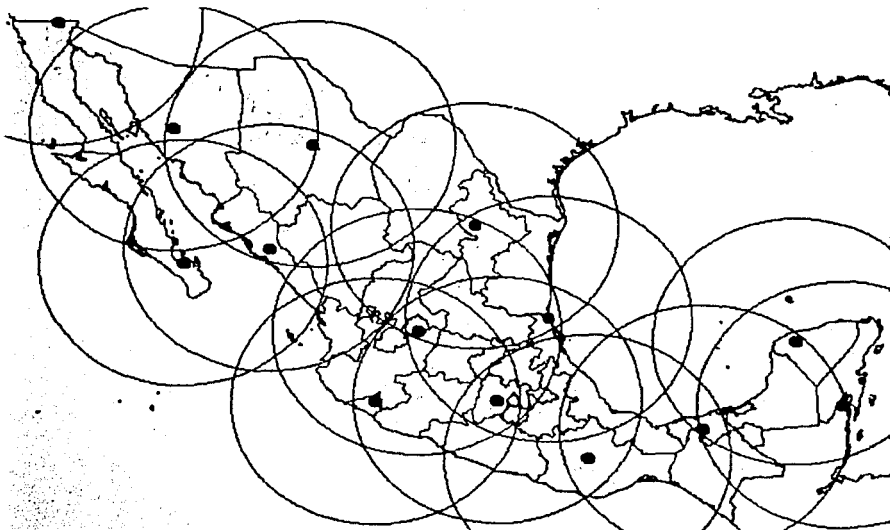
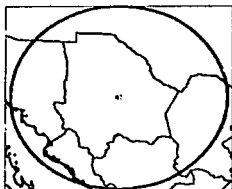


fig. 1 Ubicación de las estaciones de referencia.

Ubicación de las estaciones fijas



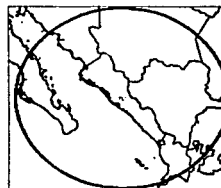
Nombre: CHI3
Ubicación: Chihuahua, Chih.
Latitud Norte: 28° 39' 43.89732"
Longitud Oeste: 106° 05' 12.25225"
Altura elipsoidal (m): 1413.1851
Altura ortométrica (m): 1436.805 SNMM
Altura vertical de la antena (m) 0.2570
X (M): -1552307.5377
Y (M): -5382771.9874
Z (M): 3041779.8767



Nombre: COL2
Ubicación: Colima, Col.
Latitud Norte: 19° 14' 40.00225"
Longitud Oeste: 103° 42' 06.77207"
Altura elipsoidal (m): 528.8403
Altura ortométrica (m): 546.760 APX
Altura vertical de la antena (m) 0.1696
X (M): -1427005.3601
Y (M): -5852976.0993
Z (M): 2089089.2027

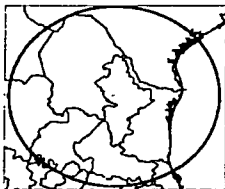


Nombre: CHET
Ubicación: Chetumal, Q.R.
Latitud Norte: 18° 29' 42.99542"
Longitud Oeste: 88° 17' 57.20162"
Altura elipsoidal (m): 3.0126
Altura ortométrica (m): 9.9696 SNMM
Altura vertical de la antena (m) 0.1463
X (M): 179584.9715
Y (M): -6048080.7182
Z (M): 2010447.3471

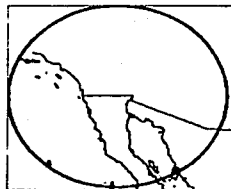


Nombre: CULI
Ubicación: Culiacán, Sin.
Latitud Norte: 24° 47' 54.79178"
Longitud Oeste: 107° 23' 02.18514"
Altura elipsoidal (m): 75.4503
Altura ortométrica (m): 102.9860 SNMM
Altura vertical de la antena (m) 0.1473
X (M): -1730936.4821
Y (M): -5528855.3242
Z (M): 2658865.7363

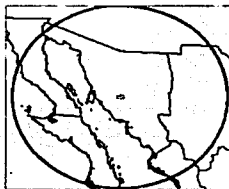
Ubicación de las estaciones fijas



Nombre: MTY2
Ubicación: Monterrey, N.L.
Latitud Norte: 25° 42' 55.82609"
Longitud Oeste: 100° 18' 46.45205"
Altura elipsoidal (m): 521.7806
Altura ortométrica (m): 521.695
Altura vertical de la antena (m) 0.1398
X (M): -1029483.2176
Y (M): -5657637.2879
Z (M): 2750926.1859



Nombre: MEXI
Ubicación: Mexicali, B.C.
Latitud Norte: 32° 37' 58.76806"
Longitud Oeste: 115° 28' 32.51529"
Altura elipsoidal (m): -22.4206
Altura ortométrica (m): 12.3690 SNMM
Altura vertical de la antena (m) 0.1488
X (M): -2312590.5665
Y (M): -4853743.8699
Z (M): 3419740.4493

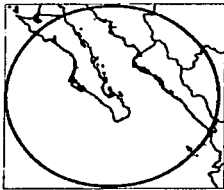


Nombre: HER2
Ubicación: Hermosillo, Son.
Latitud Norte: 29° 05' 33.17336"
Longitud Oeste: 110° 58' 01.96439"
Altura elipsoidal (m): 186.9589
Altura ortométrica (m): 219.2199 APX
Altura vertical de la antena (m) 0.2224
X (M): -1996003.7005
Y (M): -5208674.5657
Z (M): 3082959.6846

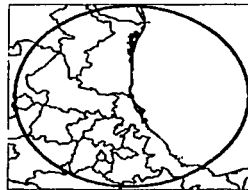


Nombre: INEG
Ubicación: Aguascalientes, Ags.
Latitud Norte: 21° 51' 22.15562"
Longitud Oeste: 102° 17' 03.12238"
Altura elipsoidal (m): 1888.6776
Altura ortométrica (m): 1903.100 SNMM
Altura vertical de la antena (m) 0.1300
X (M): -1260435.5763
Y (M): -5788547.9174
Z (M): 2360340.4138

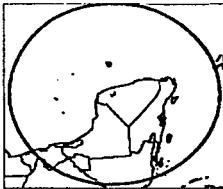
Ubicación de las estaciones fijas



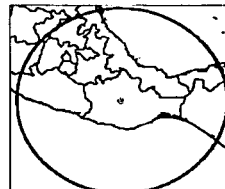
Nombre: LPAZ
Ubicación: La Paz, B.C.S.
Latitud Norte: 24° 08' 19.65739"
Longitud Oeste: 110° 19' 09.61386"
Altura elipsoidal (m): -6.6455
Altura ortométrica (m): 25.969 SNMM
Altura vertical de la antena (m) 0.1353
X (M): -2022282.5691
Y (M): -5461274.9104
Z (M): 2592316.7634



Nombre: TAMP
Ubicación: Tampsico, Tamps.
Latitud Norte: 22° 16' 41.95723"
Longitud Oeste: 97° 51' 50.48937"
Altura elipsoidal (m): 21.1075
Altura ortométrica (m): 37.5745 SNMM
Altura vertical de la antena (m) 0.1640
X (M): -807922.4230
Y (M): -5849358.3210
Z (M): 2402967.7482

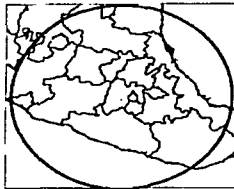


Nombre: MERI
Ubicación: Mérida, Yuc.
Latitud Norte: 20° 58' 48.16279"
Longitud Oeste: 89° 37' 13.13418"
Altura elipsoidal (m): 7.9119
Altura ortométrica (m): 21.5109 SNMM
Altura vertical de la antena (m) 0.1446
X (M): 39481.0010
Y (M): -5957733.1500
Z (M): 2269335.1255

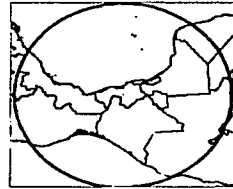


Nombre: OAXA
Ubicación: Oaxaca, Oax.
Latitud Norte: 17° 04' 49.64073"
Longitud Oeste: 96° 43' 09.50519"
Altura elipsoidal (m): 1595.9012
Altura ortométrica (m): 1597.045 SNMM
Altura vertical de la antena (m) 0.1540
X (M): -713745.2166
Y (M): -6058205.0107
Z (M): 1861815.2677

Ubicación de las estaciones fijas



Nombre: TOLU
Ubicación: Toluca, Edo. de Mex.
Latitud Norte: 19° 17' 24.61401"
Longitud Oeste: 99° 38' 18.54648"
Altura elipsoidal (m): 2649.2355
Altura ortométrica (m): 2654.249 SNMM
Altura vertical de la antena (m) 0.2402
X (M): -1008730.5724
Y (M): -5939707.4440
Z (M): 2094568.1716



Nombre: VILL
Ubicación: Villahermosa, Tab.
Latitud Norte: 17° 59' 45.92287"
Longitud Oeste: 92° 54' 47.83418"
Altura elipsoidal (m): 21.0750
Altura ortométrica (m): 31.7025 SNMM
Altura vertical de la antena (m) 0.1410
X (M): -308406.5266
Y (M): -6060219.9324
Z (M): 1957979.3679

I.5.2 OPERACIÓN DE LA RED GEODÉSICA NACIONAL ACTIVA

Para los efectos de ubicación, el INEGI aprovecho su infraestructura regional y ubica las estaciones, tanto en la Sede Central en Aguascalientes, como en las instalaciones de las Direcciones Regionales y Coordinaciones Estatales del Instituto.

La instalación de las antenas se hizo preferentemente sobre los edificios con apega a las especificaciones pertinentes en lo que respecta a visibilidad (horizonte de 360° y sin obstrucciones del ángulo de elevación mínima de 15°), alejamiento de fuentes receptoras o transmisoras de radiofrecuencia y cercanía del local para resguardo y operación del equipo.

La construcción de los monumentos, el acondicionamiento de los locales y la instalación de los equipos se inicio a finales de 1992. A esto siguió la realización de pruebas de funcionamiento para verificar la capacidad de memoria y rendimiento del equipo bajo condiciones de operación durante 24 horas continuas, con lo que la RGNA fue puesta en condiciones apropiadas para la determinación de sus coordenadas en el nuevo Sistema de Referencia, previo al inicio de operaciones.

Para estos efectos, en enero de 1993 se llevo a cabo el posicionamiento de 65 estaciones GPS distribuidas a lo largo del país, en lo que quedaron comprendidas las estaciones fijas de la Red y 7 puntos de coordenadas ya conocidas en el nueva Sistema de Referencia, ubicadas en lugares cercanos a las siguientes localidades:

Aguascalientes, Ags.
Cadereyta, N.L.
Jiménez, Chih.
Jacotitlan, Méx.
Mérida, Yuc.
Riό Verde, S.L.P.
San Miguel Xico, Méx.

Estos puntos fueran determinados con anterioridad en el curso de 1992 dentro del marco de un proyecto cooperativo de co-observación con el National Geodetic Survey de los Estados Unidos de América, para efectuar ligas muy precisas entre ambos países. Este levantamiento se ubico en el ITRF89, posteriormente se llevo al ITRF92, y produjo resultados con una precisión relativa de orden A, o sea de una parte en 10 millones, lo que constituyo el establecimiento de un conjunto de estaciones de referencia de alta precisión, las que como se expreso, estuvieron comprendidas dentro del levantamiento para posicionar las estaciones de la RGNA.

Una vez procesada toda la información del levantamiento y determinadas las coordenadas de las 14 estaciones, se inicio la operación formal y permanente de la RGNA a las 12:00 horas del día 19 de febrero de 1993 en forma simultanea, misma que desde entonces ha estado funcionando en forma continua, fundamentalmente para satisfacer los requerimientos del INEGI. De otra manera, se cuenta al momento con mas de 15,000 puntos ya determinados con apoyo en la RGNA.

En adicción a lo anterior, en marzo de 1993 se efectuó una liga entre la RGNA y 300 puntos de la Red Geodesica Nacional anterior, con el propósito de desarrollar los modelos y algoritmos de transformación entre el NAD27 y el ITRF92, labor que esta terminada y que al momento produce resultados cuya aplicación esta orientada a correlacionar la cartografía y levantamientos existentes en el NAD27 con la realizada en el ITRF92.

Como parte de este trabajo y resultado del análisis en el desarrollo del algoritmo de transformación, se aprecia que las diferencias entre ambos sistemas, el NAD27 y el ITRF92 son del orden indicado en la siguiente tabla cuando se comparan las coordenadas cartesianas. Esto es similar a los casos de Canadá y los Estados Unidos de América para las diferencias entre las Coordenadas del NAD27 y el NAD83, que para Canadá llegan a los 250 metros en la dirección Norte, mientras que para los E.E.U.U. se tienen máximos de 100 metros en la misma dirección, en la que llegan a ser de casi 190 metros en el caso de México. Puede verse que las diferencias en la dirección este-oeste resultan apreciablemente menores en todos los casos.

Pais	DX	DY	
E.E.U.U. Continental	-19 a +40	+25 a +95	(NAD83-NAD27)
Canadá	-120 a +70	+200 a +250	(NAD83-NAD27)
México	-35 a +27	+105 a +188	(ITRF92-NAD27)

Tabla 3. Diferencias entre las coordenadas cartesianas (en metros) para los sistemas de referencia adoptados, con respecto al NAD27.

Cada estación fija de la RGNA esta equipada con un receptor GPS de dos frecuencias y 12 canales en cada una de ellas, capaz de registrar las señales satelitarias además del software correspondiente, y de periféricos varios, accesorios e instrumental de apoyo. Asimismo, cuenta con una microcomputadora 80486 con disco duro de gran capacidad y unidad de cinta para descarga de datos, creación de archivos y transmisión de información. De este modo, en cada estación fija existe un sistema de captura, descarga, respaldo y procesamiento de datos.

Por lo comentado anteriormente, cada estación necesita descargar las observaciones satelitarias, a fin de evitar la saturación de la memoria y crear los archivos digitales correspondientes para su distribución al área central. En consecuencia, es necesario, interrumpir temporalmente la operación del receptor, lo que se hace sistemáticamente de las 21:00 a las 22:00 horas, tiempo del meridiano 90°W, diariamente y durante todos los días del año, lo que se aprovecha para dar mantenimiento preventivo al equipamiento, además de la operación de descarga en la PC.

En adicción a lo anterior, cada 2 horas por lo menos se hace una revisión del receptor a fin de detectar posibles fallas.

En lo general, la información de los satélites se envía a los centros de procesamiento, cálculo y determinación de coordenadas; el procesamiento se lleva a cabo empleando la información generada en la estación fija y en los sitios en que se ubica el levantamiento.

Para las personas que dispongan de equipos GPS con capacidad para realizar posicionamiento diferencial, y de aceptar archivos en formato RINEX, el INEGI ofrece los servicios de las 14 estaciones fijas que constituyen la RGNA; estas estaciones captan información, que al procesarse de manera conjunta con los puntos que intervengan en la medición, pretenden determinar la posición relativa de estos puntos con alta precisión.

CAPITULO II
ESTACIÓN DE REFERENCIA DE OPERACIÓN CONTINUA

ESTACIÓN DE REFERENCIA DE OPERACIÓN CONTINUA

Sin dudas la revolución tecnológica de las últimas décadas, ha impactado en el quehacer científico en un grado de influencia tal, que parece haber llegado a extremos tan profundos como el de la revisión conceptual de lo tradicionalmente aceptado.

Si superficialmente pretendiéramos acercarnos a los puntales de tal revolución, coincidiríamos en afirmar que por el camino del desarrollo satelital e informático es posible encontrar a dos de los grandes responsables de un cambio asombrosamente pequeño en el tiempo de gestación, gigantesco en su desarrollo, complejo en sus alcances, paradójicamente traumático en su aplicación y generoso en sus beneficios.

Y en ese marco, la Geodesia y la Topografía, como tantas otras ramas del saber le ha correspondido el lugar de una selecta "víctima".

Dentro de ella, seguramente unos pocos podrán arrogarse el privilegio de acompañar sin perder el paso, el arrollador avance de la nueva y refinadísima tecnología. Otros, mientras tanto, intentaremos acomodarnos, participar, difundir y aprovechar lo que pareciera ser una ciencia nueva cada día.

II.1 QUE ES UNA ESTACION DE REFERENCIA DE OPERACIÓN CONTINUA.

La Estación de Referencia de Operación Continua, (CORS) por sus siglas en ingles (Continuous Operating Reference Station), es solo una forma de llamar a lo que es realmente una *ESTACION PERMANENTE GPS*.

La Geodesia en su aspecto práctico, materializa puntos en el terreno y les asigna coordenadas, que sirven de apoyo para posteriores trabajos de levantamiento.

Antiguamente, la mas útil de las herramientas para determinar longitudes y latitudes era la Astronomía de posición basada en observaciones al sol y a las estrellas.

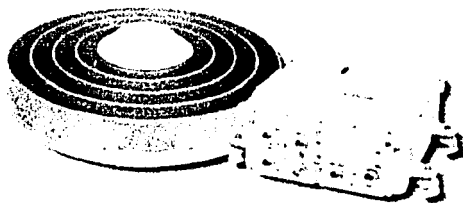
Las coordenadas de los puntos de apoyo se obtenían por el método de triangulación, para el cual era necesario medir ángulos en vértices de triángulos (materializados por los citados puntos de apoyo) y lados en los extremos de la cadena de triangulación. La resolución de los triángulos y su posterior compensación daban por resultados las coordenadas de sus vértices, ligados claro a un punto de coordenadas conocidas mediante métodos astronómicos.

Con la aparición de la medición GPS, aparece una nueva herramienta de trabajo para el campo de la Geodesia y la Topografía. Las mediciones GPS diferenciales con receptores precisos permiten obtener la posición del punto de apoyo con una precisión estimada tres veces superior a la obtenida por el método de triangulación y el método astronómico en un tiempo corto de medición.

Con el surgimiento de las *Estaciones Permanentes GPS*, el profesional no necesita disponer de dos equipos GPS, ya que el punto control está ocupado por la Estación Permanente GPS.

Una estación permanente nos brinda una base de datos homogénea, ligado igualmente a un marco de referencia activo, lo cual le da a nuestros fines una infraestructura geodesica estable, para levantamientos topográficos precisos, para la implementación de sistemas de información geográfica, así como un sin fin de aplicaciones.

Una Estación Permanente GPS está constituida por un receptor GPS que capta datos satelitales en forma continua (las 24 horas del día durante todo el año), claro esta que los datos se recaban y manipulan en una PC con su respectivo software.



Estación de referencia permanente CORS R5500. (Cortesía de Leica geosystem)

Pero el equipo gps empleado como una estación de referencia, tiene ciertas características, para cumplir como tal, deben ser receptores de doble frecuencia, portadora L1 y L2 con código C/A, para los fines de uso que pretendemos dar en la Facultad de Ingeniería debe de ser un receptor gps Geodésico, las características de estos equipos se darán mas a detalle en el siguiente capitulo.

El establecimiento de estaciones del sistema de posición global (GPS) continuo de alta calidad son un componente crítico de la metodología de recopilación de datos de sistema de posición global (GPS) actual, especialmente para exactitud de datos y fiabilidad. La UNAVCO contribuye estableciendo las redes de sistema de posición global (GPS) alrededor del mundo en apoyo de NSF e iniciativas de NASA, incluyendo el Servicio para la Geodinámico Internacional GPS (IGS).

Con la estación permanente la recopilación de datos de sistema de posición global (GPS), se convierte en un posible acercamiento de control para medir procesos de variantes lentas sobre un periodo de tiempo largo. Nuevos asuntos se han levantado sobre colocación, monumentación, necesidades de obtener sitios libres de mantenimiento, almacenamiento de datos, y asignación de ruta de datos, así como la protección de los elementos la interferencia. En el capitulo IV se hablara mas a detalle de los criterios que debe seguir el establecimiento de una estación de referencia según el (IGS).

Una estación de referencia permanente gps puede ser empleada en dos tipos de posicionamiento: el relativo y el diferencial. Normalmente suelen emplearse ambos términos indistintamente para indicar que trabajamos con dos receptores, sin embargo, vamos a emplear cada uno de estos términos para indicar un tipo de posicionamiento en el que intervienen dos tipos diferentes de observaciones.

Modo relativo

Decimos que una estación GPS de referencia trabaja en posicionamiento relativo cuando los usuarios de la misma aprovechan las observaciones a los satélites, ya sean éstas de código, fase o ambas, de igual modo que cuando el usuario dispone de dos receptores GPS donde uno de ellos es el "fijo" y el otro el "móvil". En este caso, el usuario sólo necesita disponer de un receptor GPS Geodésico y de un medio para obtener las observaciones realizadas por la estación GPS de referencia.

La estación de referencia, como es lógico, hace las veces de receptor fijo, mientras que el usuario será el receptor móvil. Como estación de referencia deberemos colocar un receptor GPS que tenga un puerto para su conexión a una computadora de manera que podamos controlar los parámetros de funcionamiento de antena y receptor a través del computadora, por lo tanto, necesitamos un software especial que nos permita, además del control de la estación, la gestión de los ficheros generados por la estación de referencia para que el usuario pueda acceder a ellos.

Estación de Referencia de Operación Continua

El medio del que dispone el usuario para acceder a los ficheros de la estación es Internet. Una vez que disponemos los ficheros de observaciones en la computadora, éstos pueden quedar ahí de manera que la computadora que gestiona la antena será el "servidor", es decir, el usuario se conectará directamente a dicho ordenador para obtener los ficheros, o bien, para evitar problemas, lo más aconsejable es que los ficheros se envíen automáticamente a otra computadora a la cual se conectará el usuario. En ambos casos, es necesario que la computadora de control de la antena disponga de módem y conexión a Internet.

Además de Internet, existe la posibilidad de enviar los datos vía radio-módem (conocido como RTK, Real Time - Static Kinematic). La estación de referencia localiza los satélites visibles y la unidad de control envía los datos a un radio-módem que los retransmite a todos los receptores próximos a ella. Es en el receptor del usuario donde los datos de la estación y del receptor se combina y procesan continuamente. La precisión de este sistema ronda los 2 cm + 2 ppm hasta una distancia de 10 km. (depende del alcance del radio-módem). La gran ventaja de este sistema es que permite coordenadas centimétricas en tiempo real estando el usuario estático o en movimiento, algo impensable hace años. Las aplicaciones de este sistema son prácticamente infinitas, levantamientos de detalle, replanteos y parcelaciones, control de vehículos, localización de accidente, etc. La desventaja respecto a RTK, es que el alcance depende del radio-módem y mientras con Internet podemos llegar a una distancia mayor dependiendo de los receptores GPS de la antena de referencia y del usuario, pudiendo llegar hasta los 30 Km.

Modo diferencial

Si dicha estación GPS de referencia trabaja en modo diferencial, en este caso, los usuarios no aprovechan las observaciones de la misma, si no las correcciones que calcula en función de su posición real, y la obtenida en función de las observaciones realizadas por ella misma. El usuario en este caso, necesita, además de un receptor GPS Geodésico, un receptor capaz de recibir las correcciones emitidas desde la estación de referencia, la cual debe disponer de una salida RTCM para conectar una emisora que transmita ese tipo de correcciones.

La estación de referencia dispone de unas coordenadas precisas determinadas previamente (X_R, Y_R, Z_R), asimismo, la estación calculará su posición obteniendo unas coordenadas (X'_R, Y'_R, Z'_R) en cada momento. Lo que hace la estación de referencia es calcular un error para cada coordenada ($e_x = X_R - X'_R$; $e_y = Y_R - Y'_R$; $e_z = Z_R - Z'_R$) y transmitir dicho error para que el receptor del usuario situado en la zona próxima a la estación de referencia sume a las coordenadas obtenidas por él (X'_U, Y'_U, Z'_U) el error determinado por la estación de referencia y así obtener unas coordenadas (X_U, Y_U, Z_U) más precisas que las anteriores. Aunque actuando de esta manera se consigue una mejora de la precisión de las coordenadas determinadas por el usuario, esto sólo sería correcto en el caso en el que estación de referencia y usuario usasen los mismos satélites para determinar su posición y el mismo equipo GPS.

En la práctica, la estación de referencia calcula su posición (X_R, Y_R, Z_R) en función de las pseudodistancias respecto a los satélites que recibe. Vuelve a calcular las pseudodistancia a los diferentes satélites usando su posición verdadera (X_R, Y_R, Z_R) y calcula el error entre ambas distancias para cada satélite. Así, lo que transmite la estación de referencia a los usuarios próximos a ella es algo así como, para calcular tu posición, súmale 0.5 metros a la pseudodistancia que has medido respecto al satélite 7, réstale 0.12 metros a la del satélite 14, etc. El receptor del usuario aplica a las pseudodistancia de los satélites que recibe, las correcciones que le envía la estación y una vez corregidas dichas pseudodistancias, calcula su posición.

La precisión de las coordenadas conseguidas por el usuario con este método ronda los 2 metros. Podemos decir que, más que un posicionamiento diferencial (o "relativo") lo que realmente hacemos es un posicionamiento absoluto (un solo receptor) mejorado por las correcciones de la antena de referencia.

II.1.1 Las Estaciones Permanentes GPS.

Las estaciones permanentes GPS, como ya se mencionó anteriormente, son receptores GPS, que recaban datos e información satelital de forma continua, las 24 hrs. del día, con el inconveniente de que

Estación de Referencia de Operación Continua

la información obtenida debe someterse aun post-procesó, para obtener los resultados buscados, por lo general valiéndonos de un software que incluyen los sistemas GPS.

II.1.2 Las Estaciones Permanentes Activas GPS.

Las estaciones activas GPS, al igual que las estaciones permanentes, funcionan las 24 horas del día todo el año. Se diferencian de las estaciones permanentes en que además de obtener la posición geodésica del punto, permiten enviar distintas correcciones en tiempo real para acelerar las mediciones en el campo; esto significa que un profesional que se encuentre cercano a una estación activa, y teniendo el mismo equipamiento puede calcular con gran precisión las coordenadas de donde se encuentra en el mismo instante que está midiendo.

II.2 EL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS).

Como ya se vio anteriormente la estación de referencia activa es un GPS posicionado en un lugar las 24hrs del día por eso es importante entonces describir el sistema.

El sistema Global de posicionamiento (GPS por sus siglas en inglés) es un sistema satelitario basado en señales de radio emitidas por una constelación de 21 satélites activos en órbita alrededor de la tierra a una altura de aproximadamente 20 000 km. El sistema permite el cálculo de coordenadas tridimensionales que pueden ser usadas en navegación o ,mediante el uso de métodos adecuados, para determinación de mediciones de precisión, provisto que se poseen receptores que capten las señales emitida por los satélites. El GPS fue implementado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos con el objeto de obtener en tiempo real la posición de un punto en cualquier lugar de la tierra. Este sistema surgió debido a las limitaciones del sistema TRANSIT que en la década de los 70 proporcionaba posicionamiento usando métodos Doppler. La principal desventaja del este último era la no disponibilidad de satélites las 24 horas del día.

La posibilidad de usar el sistema para tareas de precisión se ha estudiado desde hace mucho tiempo. En la actualidad se han desarrollado técnicas para lograr exactitud topográfica y geodésica. Estas son conocidas como técnicas diferenciales o métodos de posicionamiento relativo. Esto es, que es posible conocer con gran exactitud la diferencias de coordenadas entre dos o más receptores. El principio se basa en que en ambos extremos de una línea los errores de las orbitas de los satélites son iguales. En este caso, los mismos satélites tienen que ser usados en los extremos de la línea a medir.

El GPS es el aparato clave, es la base de una estación de referencia por eso es necesario conocerlo mas a fondo y hablar sobre el en todos sus aspectos sin profundizar mucho en el tema.

II.2.1 Antecedentes del Programa GPS.

Es necesario conocer los antecedentes del sistema gps, para comprender los usos que lo llevaron a su creación y las múltiples aplicaciones a las que se fueron ligando.

Fase de Prueba (1960-1972)

Desde principios de los 60, varias agencias de investigación americanas habían estudiado ya la viabilidad de la navegación por satélite.

En esta época, la fuerza aérea de los Estados Unidos (USAF, United States Air Force) dirigió sus estudios a evaluar un sistema de navegación tridimensional (latitud, longitud y altitud) llamado 621B.

Etapla 1 - Aprobación del Programa (1973-1979)

Un memorando emitido por la Secretaria de Defensa de los Estado Unidos el 17 de abril de 1973 señalaba al USAF como el encargado de unir los sistemas TIMATION y las ideas fundamentales del 621B

Estación de Referencia de Operación Continua

en un sistema de navegación llamado NAVSTAR-GPS. La Oficina de Coordinación del Programa NAVSTAR-GPS se estableció el 1 de Julio de 1973.

En marzo de 1977 se empezó a probar el funcionamiento de los equipos de usuario usando transmisores en tierra que simulaban las señales emitidas por los satélites GPS. Hasta diciembre de 1978, momento en el que hubo operativos 4 satélites que permitían el posicionamiento en tres dimensiones (4 satélites para resolver las 4 incógnitas X, Y, Z, tiempo), se siguió comprobando el funcionamiento de estos equipos mediante la combinación de satélites y transmisores en tierra. Ya en octubre de 1978, cuando sólo había tres satélites operativos, se comprobó con éxito el posicionamiento en dos dimensiones (latitud, longitud) de un barco que llevaba un receptor a bordo.

Etapas 2 - Desarrollo completo (1979-1985)

En septiembre de 1980, se determinó actualizar y mantener operativo el ICS (Initial Control System) hasta el total desarrollo del Sistema de Control Operacional (OCS, Operational Control System), de esta manera se aseguraba el apoyo continuo al Segmento de Usuarios mientras se desarrollaba el OCS. El equipamiento completo del OCS se trasladó a la base aérea de Vandenberg en mayo de 1985. Desde octubre de 1985 hasta finales de dicho año, una vez instalado y comprobado, el OCS trabajó de forma conjunta con el ICS para ser más tarde trasladado de forma definitiva a la base aérea de Falcon en Colorado Springs.

Etapas 3 - Producción y Despliegue (1986 - ...)

La combinación de los satélites del Bloque I y II, permitió el posicionamiento global bidimensional en Junio de 1991 y el tridimensional en 1993. La constelación completa se logró en abril de 1994.

En Junio de 1989 se otorgó otro contrato para la fabricación de 20 satélites GPS de reemplazo denominados Bloque IIR a General Electric. Los satélites de este bloque pueden generar autónomamente su propio mensaje. A pesar de que por el momento sólo se ha lanzado uno en 1998, ya se tiene prevista la creación de otro bloque denominado IIF a cargo de la empresa aeronáutica Boeing que asegure el sistema GPS más allá del 2003.

En 1994, la Oficina de Coordinación del Programa GPS comenzó los estudios para la elaboración de un complemento del sistema anterior llamado GPS Aumentado (Augmented GPS, AGPS) cuya misión es reforzar la disponibilidad, exactitud e integridad del sistema GPS consistente en seis satélites geostacionarios que transmitirían información sobre la integridad del sistema y correcciones a las observaciones en el mismo espectro radioeléctrico que las señales GPS.

A enero de 1999, estaban en órbita 27 satélites, 24 de ellos operativos (21 en uso y 3 de reserva) perteneciendo 26 de ellos al Bloque II y 1 al Bloque IIR.

II.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA GPS.

El Sistema de Posicionamiento Global permite la localización en cualquier punto del globo terrestre en cualquier momento del día y bajo cualquier condición meteorológica. Además, todo el costo se reduce a la compra del receptor GPS. El GPS puede servir como referencia de tiempos ya que el sistema utiliza una escala de tiempos atómica, pudiendo proporcionar además la velocidad del usuario con el software adecuado.

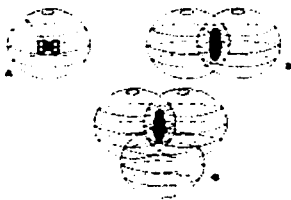
Para proporcionar todos estos servicios, la idea básica es conocer la "distancia" a cuatro satélites por lo menos. Pero primero expliquemos cómo sabiendo distancias a puntos de coordenadas conocidas podemos determinar las coordenadas del receptor.

II.3.1 La Solución geométrica.

La idea geométrica es muy sencilla. Supongamos que medimos nuestra distancia al primer satélite y resulta ser de 20.000 Km. Sabiendo que estamos a 20.000 Km. de un satélite determinado, no podemos

por lo tanto estar en cualquier punto del universo sino que esto limita nuestra posición a la superficie de una esfera que tiene como centro dicho satélite y cuyo radio es 20.000 Km.

A continuación medimos nuestra distancia a un segundo satélite y descubrimos que estamos a 20.100 Km. del mismo. Esto nos dice que no estamos solamente en la primer esfera, correspondiente al primer satélite, sino también sobre otra esfera que se encuentra a 20.100 Km. del segundo satélite. En otras palabras, estamos en algún lugar de la circunferencia que resulta de la intersección de las dos esferas, como se muestra en la siguiente figura.



Determinación de la ubicación de un punto.

Si ahora medimos nuestra distancia a un tercer satélite y descubrimos que estamos a 20.150 Km. del mismo, esto limita nuestra posición aún más, a los dos puntos en los cuales la esfera de 20.150 Km. corta la circunferencia que resulta de la intersección de las dos primeras esferas. O sea, que midiendo nuestra distancia a tres satélites limitamos nuestro posicionamiento a sólo dos puntos posibles.

II.3.2 Las Pseudodistancias.

La pseudodistancia es el resultado de multiplicar la velocidad de la señal radiodifundida desde el satélite (la de la luz) no por el tiempo de viaje que le lleva ir desde el satélite al receptor puesto que de hacerlo así nos daría la distancia satélite-receptor, sino por el desplazamiento temporal necesario para correlacionar una réplica de la señal (código) generada por el receptor con la recibida del satélite. Repito que este desplazamiento temporal no es el tiempo de viaje de la señal, ya que, aunque sabemos el momento de la emisión en el satélite (el estado y marcha del reloj vienen en el mensaje de navegación que viene con la señal) desconocemos el estado del reloj del receptor ya que éste último no es un reloj atómico como el de los satélites.

El problema de la medición de ese tiempo es complicado. Los tiempos son extremadamente cortos. Si el satélite estuviera justo sobre nuestras cabezas, a unos 20.000 Km. de altura, el tiempo total de viaje de la señal hacia nosotros sería de algo más de 0.06 segundos.

Si todo fuera perfecto entonces todos los rangos (distancias) a los satélites se interceptarían en un único punto (que indica nuestra posición). Pero con relojes imperfectos, una cuarta medición, efectuada como control cruzado, NO intersecará con los tres primeros. De esa manera la computadora de nuestro GPS detectará la discrepancia y atribuirá la diferencia a una sincronización imperfecta con la hora universal. Dado que cualquier discrepancia con la hora universal afectará a las cuatro mediciones, el receptor buscará un factor de corrección único que siendo aplicado a sus mediciones de tiempo hará que los rangos coincidan en un solo punto. Dicha corrección permitirá al reloj del receptor ajustarse nuevamente a la hora universal y de esa manera nuestro humilde reloj de cuarzo del receptor se convierte en un reloj de precisión atómica.

Esto significa que la señal que recibe un receptor de GPS no es solamente un Código Pseudo Aleatorio con fines de sincronía, también contiene un mensaje de navegación con información sobre la órbita exacta del satélite. Con los relojes del receptor y satélite en perfecta sincronía y la posición exacta del satélite

podríamos pensar que estamos en condiciones de efectuar cálculos perfectos de posicionamiento. Sin embargo debemos resolver otros problemas, para mayor de las Pseudodistancias ver (anexo 2).

La ecuación fundamental para la pseudodistancia asociada a la fase del código en el GPS es formulada de la siguiente manera:

$$p = \rho + c \cdot (dt - dT) + d_{ion} + d_{trop}$$

donde:

P: Pseudodistancia satélite-receptor.

ρ : Distancia geométrica satélite-receptor (o radio-vector entre la antena del satélite y la antena del receptor posicionado).

c: Velocidad de propagación de la luz en el vacío.

dt: Error de sincronismo del reloj del satélite.

dT: Error de sincronismo del reloj del receptor.

dion: Refracción ionosférica.

dtrop: Refracción troposférica.

II.3.3 La Medida de fase.

En el caso de medida de fase, se compara la fase de la señal generada por el receptor con la fase de la señal recibida del satélite. El observable es el desfase entre ambas señales. Pero, ¿cómo saber la distancia satélite-receptor a partir de dicho desfase? La señal del satélite habrá recorrido dicha distancia siendo igual a un número entero de longitudes de onda de la señal (término llamado ambigüedad) más el desfase entre ambas señales. Este desfase varía entre 0° y 360° . Cuando va creciendo y llega a 360° la ambigüedad aumenta en un entero y el desfase pasa a ser 0° .

Lo más difícil de determinar con este método es el valor de la ambigüedad, lo cual se realiza en el proceso de cálculo junto con la resolución del estado de los relojes y las tres coordenadas del receptor, ver (anexo 2).

II.4 CONSTITUCIÓN DEL SISTEMA GPS.

La descripción del sistema de posicionamiento Global así como los componentes de la señal, siguen la división acostumbrada para los sistemas satelitales de navegación en tres segmentos: segmento espacial que se refiere a la constelación de satélites, segmento de control que monitorea y controla todo el sistema, y segmento del usuario que consiste de los distintos tipos de receptores (Seeber, 1993). A continuación se da una breve descripción de cada uno de estos segmentos.

II.4.1 Componentes de la señal.

Los osciladores a bordo de los satélites GPS generan una frecuencia fundamental f_0 con una estabilidad en el rango de 10^{-13} . Dos señales portadoras en la banda L (llamadas L1 y L2) se generan mediante la multiplicación entera de f_0 de la siguiente manera (Hoffman-Wellenhof, Lichtenegger y Collins, 1993):

$$f_0 = 10.23 \text{ Mhz}$$

$$\text{Portadora L1} = 154 f_0 = 1575.42 \text{ Mhz} @ 19 \text{ cm.}$$

$$\text{Portadora L2} = 120 f_0 = 1227.60 \text{ Mhz} @ 24.4 \text{ cm.}$$

Para lograr obtener las lecturas de los relojes, se hace uso de dos códigos. Estos códigos se caracterizan por contener en ellos un ruido pseudo aleatorio (PRN). El primero es el llamado código C/A (Coarse acquisition) generado con una frecuencia igual a $f_0/10$, el cual se repite cada milisegundo. El segundo es el llamado código P (o código Preciso) generado mediante una frecuencia igual a f_0 , la cual es

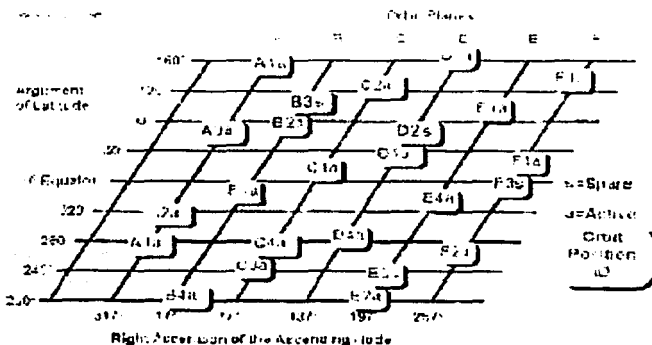
repetida aproximadamente cada 266.4 días. Las señales portadoras L1 y L2 son moduladas con el código P mientras que el código C/A es modulado para la L1 solamente:

Código P : $f_c/10 = 10.23$ Mhz en L1 y L2
 Código C/A : $f_c = 1.023$ Mhz en L1

II.4.2 Segmento espacial.

La cobertura global de entre cuatro a ocho satélites simultáneos en cualquier momento con una elevación de 15° ha sido una de las metas fundamentales que se han tratado de establecer por los diseñadores e implementadores de GPS (Hoffman-Wellenhof, Lichtenegger y Collins, 1993). Esto puede ser logrado mediante la planificación de una constelación adecuada de satélites que hagan cumplir la condición deseada.

Este sector lo forman los satélites de la constelación NAVSTAR formada por seis planos orbitales, separados 60° del Ecuador, y en cada uno de ellos existe una órbita elíptica casi circular donde se alojan los satélites regularmente distribuidos. Los planos tienen una inclinación de 55° respecto al plano del ecuador, y se nombran como A, B, C, D, E y F. Cada órbita contiene al menos cuatro satélites, aunque pueden contener más como se muestra en la figura.



Representación nominal simple de la constelación GPS.

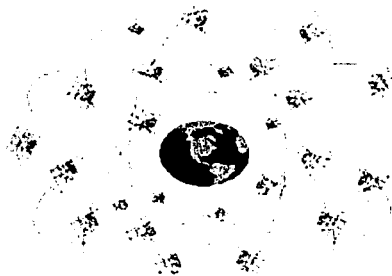
Los satélites se sitúan a una distancia de 20200 Km. respecto del geocentro, y completan una órbita en doce horas sidéreas. Estos satélites son puestos en funcionamiento por el Comando de las Fuerzas Aéreas Espaciales de U.S.A (AFSPC).

Desde su puesta en funcionamiento, a lo largo de los años, los satélites se han ido poniendo en órbita agrupados por bloques (anexo 2).

Constelación:

La constelación final y número total de satélites ha sufrido variaciones con el tiempo. Los primeros satélites GPS tenían una inclinación de 63° con respecto al Ecuador y los planes era colocar 24 satélites en 3 planos orbitales. Debido a cuestiones presupuestarias la constelación se pensó reducir en 18

satélites. Con esta idea, sin embargo, no se proveía la cobertura deseada (Hoffman-Wellenhof, Lichtenegger y Collins, 1993). La constelación final de satélites GPS se estableció en 21 satélites principales más tres satélites activos de repuesto orbitando la tierra en órbitas casi circulares a una elevación de aproximadamente 20200 km sobre la tierra y con un período de 12 horas sidéreas. Estos satélites tienen una inclinación de 55° con respecto al Ecuador y están colocados en seis planos equidistantemente y con 4 satélites en cada órbita. La separación de los planos de las órbitas es de 60° en ascensión recta (Seeber, 1993) a continuación se ilustra la constelación.



Constelación GPS

Degradación de la precisión:

Existen dos formas para degradar la señal emitida por los satélites GPS. La primera es llamada *Selective Availability (SA)*, y la otra llamada *Anti-Spoofing (A-S)*. El objetivo de ambas es negar a los usuarios el uso apropiado del sistema.

Selective Availability. La limitación en este caso puede ser lograda de dos maneras. La primera es mediante la manipulación de los datos de las efemérides (método e) y la segunda mediante la desestabilización de los relojes del satélite (método d) (Seeber, 1993). Ambos métodos afectan la medición de pseudo-distancias.

Anti-Spoofing: Este método de degradación de la señal consiste en encriptar el código P mediante el uso del llamado código protegido Y. Solamente usuarios autorizados tienen acceso al código P cuando el A-S es activado.

II.4.3 Segmento de control.

Este sector tiene como misión el seguimiento continuo de todos los satélites de la constelación NAVSTAR para los siguientes fines:

- Establecer la órbita de cada satélite, así como determinar el estado de sus osciladores.
- Hallados los parámetros anteriores, emitirlos a los satélites para que éstos puedan difundirlos a los usuarios.

Está compuesto por 5 estaciones de seguimiento, 3 estaciones de enlace con los satélites (para transmitir comandos y datos sobre banda S a 1.783,74 MHz, y recibir las señales de los satélites) y una maestra, todas ellas uniformemente espaciadas en longitud por la superficie terrestre y próximas al ecuador.

Este segmento consiste de una red de estaciones que permiten controlar y retroalimentar el sistema de satélites. Esto se logra mediante el constante monitoreo de los satélites desde una serie de estaciones convenientemente ubicadas al rededor de la tierra.

Existe una estación maestra de control ubicada actualmente en el Centro de Operaciones Consolidadas del Espacio, en Colorado Springs. En esta estación se reúne la información de las estaciones de monitoreo y con estos datos se calculan las orbitas de los satélites y correcciones a los relojes haciendo uso de estimadores Kalman. Las estaciones de monitoreo son cinco y se encuentran localizadas en Hawaii, Colorado Springs, Isla Ascensión en el Océano Atlántico Sur, Diego García en el Mar Indico y Kwajalein en el Océano Pacífico Norte. Estas estaciones están equipadas con relojes de Cesio y receptores del código P que constantemente monitorean todos los satélites sobre el horizonte. Estas estaciones son usadas para la determinación de las efemérides transmitidas y modelados de reloj. Las correcciones a las órbitas y relojes son retroalimentadas a los satélites mediante las estaciones de control terrestres. Estas estaciones se encuentran en Ascensión, Diego García y Kwajalein (Hoffman-Wellenhof, Lichtenegger y Collins, 1993).



Control maestro y estaciones de monitoreo.

Las Estaciones Monitoras reciben en todo momento las señales transmitidas por los satélites visibles y obtienen la información necesaria para calcular con gran precisión las órbitas de los satélites. Una vez enviados estos datos a la Estación Maestra, ésta calcula las efemérides de los satélites con un error menor de 1 m en sentido radial, 7 m en el de la trayectoria y 3 m en la perpendicular a la misma, todo ello incluido en el mensaje de navegación. Además proporcionan servicios de Telemetría, muestreo y mando (TT&C) entre los satélites y la Estación Maestra de Control.

Existen además otras estaciones de seguimiento (láser, radar y ópticas), cuyo fin es la obtención de efemérides precisas, y que están al alcance del usuario a través de organismos científicos como el IGS (International Geodynamic Service) o el NGS (National Geodetic Survey). Con ellas, tenemos la seguridad de posicionarnos en el sistema WGS84 con los errores típicos del sistema.

II.4.4 Segmento de usuario.

Este sector lo compone el instrumental que deben utilizar los usuarios para la recepción, lectura, tratamiento y configuración de las señales, con el fin de alcanzar los objetivos de su trabajo. Los elementos son el equipo de observación y el software de cálculo, que puede ser objeto de uso tras la campaña de observación, o bien realizable en tiempo real, donde se obtienen los resultados "in situ". Las funciones son:

- Sintonizar la señal emitida por los satélites.
- Decodificar el mensaje de navegación.
- Medir los tiempos de retardo.
- Realizar los cálculos precisos para extraer los datos requeridos.
- Interpretación de datos.

Este segmento se refiere a los distintos tipos de receptores que existen en el mercado y de los distintos usuarios del sistema. Con el paso del tiempo nuevas aplicaciones se han encontrado al sistema. Se necesita, por lo tanto, diseñar y desarrollar equipos con ciertas características para adaptarse a las distintas necesidades de los usuarios.

II.5 CARACTERÍSTICAS DE LA SEÑAL GPS.

Ya hemos visto que para calcular las pseudodistancias satélite-receptor es necesario comparar la señal enviada por el satélite con la generada por el propio receptor, ya sean estas señales código o fase portadora. Es necesario por tanto, conocer algo más sobre las características de estas señales.

La señal GPS recibida se compone de dos frecuencias que contienen dos complicados códigos y un mensaje de navegación.

Hay varias buenas razones para esta complejidad: primero, el patrón complejo ayuda a asegurarse que el receptor no se sincronizará accidentalmente con alguna otra señal. Los patrones son tan complejos que es altamente improbable que una señal extraviada tenga exactamente la misma forma.

Debido a que cada satélite tiene su propio único código pseudo-aleatorio, esta complejidad también garantiza que el receptor no recogerá accidentalmente la señal de otro satélite. Por ello todos los satélites pueden usar la misma frecuencia sin interferir los unos con los otros. Y esto hace más difícil para una fuerza hostil interferir el sistema. De hecho el código pseudo-aleatorio da al Departamento de Defensa una forma de control del acceso al sistema.

Pero hay otras razones para la complejidad del código pseudo-aleatorio, una razón que es crucial para hacer el GPS económico. Los códigos hacen posible usar *teoría de la información* para amplificar la señal GPS. Y esta es la causa de que los receptores GPS no necesiten grandes antenas parabólicas para recibir las señales GPS.

Frecuencias portadoras

La Estación Maestra de Control (MCS, Master Control Station) selecciona uno de los cuatro relojes atómicos (osciladores) de cada satélite, el cual proporciona una frecuencia fundamental de 10.22999999543 MHz. El motivo de dar esta frecuencia con tantos decimales en lugar de la "más normal" 10.23 MHz son los efectos debidos a la relatividad. Efectivamente, interesa que el reloj proporcione una frecuencia de 10.23 MHz, pero debido a los efectos relativistas, el tiempo "va más deprisa" en un satélite que en la superficie terrestre, lo que provoca un aparente incremento de la frecuencia de 0.0045674 Hz.

Una vez obtenida la frecuencia fundamental, dicha frecuencia se multiplica en un caso por 154 dando lugar a la llamada L1 cuya frecuencia es 1575.42 MHz, y en el otro por 120 obteniendo una frecuencia de 1227.60 MHz denominada L2. La obtención de la longitud de onda de cada una de las frecuencias es inmediata, ya que la velocidad de desplazamiento de una onda electromagnética es la velocidad de la luz, igual a la frecuencia por la longitud de onda, luego la longitud de onda en la velocidad de la luz entre la frecuencia ver (anexo 2).

Códigos

Hay dos tipos de códigos pseudo-aleatorios:

Código de adquisición ordinaria (C/A = "Coarse Acquisition"): modula a la portadora L1 a una tasa de 1 Mhz, y se repite cada 1.023 bits. Cada satélite tiene un único código pseudo-aleatorio. El código C/A es la base para el uso civil del GPS.

Estación de Referencia de Operación Continua

Código preciso o código P se repite en un ciclo de 7 días y modula a las portadoras L1 y L2 a 10 Mhz. Este código está destinado para usos militares y puede ser encriptado. Cuando está encriptado se llama *código Y*. Como el código P es más complejo que el código C/A, también es más difícil de captar para los receptores. Este es el motivo por el que algunos receptores militares empiezan captando el código C/A primero y luego se mueven al código P.

Mensaje de navegación

Es una señal de baja frecuencia añadida a los códigos L1 que da información sobre las órbitas de los satélites, las correcciones de sus relojes y otros estados del sistema.

II.5.1 Código.

La idea principal del sistema GPS era que un usuario pudiera posicionarse con el uso de un receptor (posicionamiento absoluto). Este es el objetivo de los códigos C/A y P, usados principalmente en navegación para permitir el posicionamiento absoluto. Tanto el código C/A y el P son una secuencia de ceros y unos, sin ley aparente de cómo se ha generado. Cada uno de estos ceros y unos se denominan "chips" y no "bits" puesto que no llevan información, sólo son una secuencia según un complicado patrón que el receptor del usuario conoce.

El C/A ofrece precisiones decamétricas siendo el código usado en el posicionamiento estándar (SPS, Standard Positioning Service) mientras que con el código P, usado en el posicionamiento preciso (PPS, Precise Positioning Service) obtenemos precisiones métricas, sólo por usuarios autorizados. (ver anexo 2).

II.5.2 Fase portadora.

En su inicio, la función de la señal portadora era, como su nombre indica, contener los códigos y el mensaje de navegación. Sin embargo, los usuarios civiles descubrieron una forma más precisa de posicionamiento con la medición del desfase entre la señal portadora recibida en dos receptores diferentes. Mediante este método no es posible el posicionamiento absoluto, son necesarios al menos dos receptores, ver (anexo 2).

A pesar de que el método de medición de fase de portadora es más preciso que el de pseudodistancias, debido a su complejidad se comienza la medición mediante el uso de código para obtener una pseudodistancia que permita aproximarse al valor de la ambigüedad para pasar posteriormente a la medición de fase de portadora y finalmente calcular el valor exacto de la ambigüedad.

Ecuación de fase portadora:

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

donde:

Φ : Medición de la fase portadora en ciclos.

ρ : Distancia geométrica satélite-receptor (o radio-vector entre la antena del satélite y la antena del receptor posicionado).

c : Velocidad de propagación de la luz en el vacío.

dt : Error de sincronismo del reloj del satélite.

dT : Error de sincronismo del reloj del receptor.

λ : Longitud de onda de la portadora.

N : Ambigüedad (en ciclos) de la medida de la fase de la da portadora.

Actualmente, los organismos encargados del mantenimiento y desarrollo del sistema GPS están estudiando realizar diferentes cambios que mejoren las prestaciones de las señales GPS. Estos cambios consistirían en incluir el código C/A en la portadora L2, añadir un nuevo código de acceso exclusivamente militar llamado código M en las portadoras L1 y L2, y el envío por parte del satélite de una nueva señal

portadora denominada L5 cuya frecuencia sería de 1176,45 MHz. Antes de todo esto, ya se ha llevado a cabo uno de los cambios más importantes. La desactivación de la "Disponibilidad Selectiva".

En el ámbito topográfico, la desactivación de la SA no supone un gran cambio debido a que el método con el que se trabaja en topografía es el relativo, es decir, la Disponibilidad Selectiva es un error que afecta a las distancias entre el satélite y los dos receptores pero no al incremento de coordenadas entre los receptores que es lo que realmente se determina con este método. En lo que sí puede tener influencia la desactivación de la SA es en la realización de un "single point", es decir, cuando de un punto desconocemos sus coordenadas en el sistema WGS-84, debemos estar midiendo durante al menos dos horas para determinar las mismas.

II.5.3 Mensaje de navegación

A parte de la emisión de los códigos y las señales portadoras, es necesario que el receptor reciba otro tipo de información como por ejemplo los parámetros que definen la órbita de cada satélite, el estado del reloj, la "salud" de cada satélite, los parámetros para obtener el tiempo GPS, etc.

Esta información modula de nuevo a las señales L1 y L2 imponiéndose sobre los códigos C/A y P. La velocidad de transmisión del mensaje de navegación se realiza a una velocidad de 50 bits por segundo, extremadamente lenta en comparación con la de los códigos pero muy segura. Cada bit del mensaje de navegación abarca 20460 chips del código C/A y 204600 chips del código P. Cada vez que el mensaje de navegación cambia un bit se invierten 20460 chips del código C/A y 204600 chips del código P.

El mensaje de navegación está formado por 25 grupos de 1500 bits cada uno. Cada grupo está formado por 5 celdas, cada celda está formada por 10 palabras y cada palabra por 30 bits. A una velocidad de transmisión de 50 bps (bits per second) el mensaje de navegación se emite continuamente, aunque para recibirlo completo sólo son necesarios 12 minutos y medio.

II.5.4 Amplificación de las señales

Los códigos enviados por los satélites GPS se asemejan a un ruido pseudo-aleatorio (PRN, Pseudo Random Noise) es una de las ideas brillantes que hay detrás del GPS. No sólo actúa como una gran señal de temporización sino que también nos da una forma de amplificar las débiles señales de los satélites.

Aquí mostramos como trabaja el proceso de amplificación. El mundo está inundado de ruido eléctrico aleatorio. Si sintonizamos nuestros receptores a la frecuencia del GPS y dibujamos lo que recogemos, podremos ver una línea variando aleatoriamente (el ruido de la tierra). La señal GPS podría ser tapada por este ruido.

Puesto que ambas señales son básicamente patrones aleatorios, la probabilidad dice que aproximadamente la mitad del tiempo coincidirán y la otra mitad no. Si ponemos un marcador que nos dé un punto cuando coincidan ambas señales y nos lo quite cuando no coincidan a lo largo del tiempo terminaremos con un marcador de cero puntos, porque los -1 habrán anulado a los +1.

Si un satélite GPS empieza transmitiendo pulsos con el mismo patrón que nuestro PRN, estas señales, incluso aunque sean débiles, tenderán a estimular el ruido aleatorio de fondo del mismo patrón que usamos en nuestra comparación. Las señales de fondo que estuvieron a punto de ser "1", serán impulsadas más allá del límite y empezaremos a ver más coincidencias, por lo que nuestro marcador empezará a aumentar.

Incluso si este pequeño estímulo sólo hace coincidir uno de cada 100 pulsos de fondo, podremos aumentar nuestro marcador tanto como queramos comparando sobre un tiempo mayor. Si comparamos el PRN con un ruido aleatorio puro durante 1.000 periodos de tiempo, nuestro marcador podría seguir siendo cero, esto representa una amplificación de 10 veces. Esta explicación está muy simplificada, pero el concepto básico es lo importante. Esto supone que el sistema puede funcionar sin que el topógrafo deba cargar con una antena parabólica como las de televisión hasta un vértice.

CAPITULO III
EQUIPOS PARA EL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL

EQUIPOS PARA EL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL

Existen varios tipos de receptores GPS, cada uno de los cuales está orientado a la precisión exigida por el usuario. Asimismo, existen varios tipos de clasificaciones, como por ejemplo, la comunidad de usuarios (civil, militar, determinación de tiempos, geodésicos, etc.), el número de canales y la técnica usada para el posicionamiento (mono o multicanal, secuenciales, etc.) o atendiendo al tipo de observable con el que trabaja.

Como es este último el criterio más adecuado, podemos definir receptores:

- De código C/A. Reciben únicamente observables de código (tiempos). Son los instrumentos menos precisos, aunque su evolución está siendo espectacular. Sus aplicaciones más comunes son la navegación, catastro, GIS y levantamientos de escalas menores de 1/5000 en los más sofisticados.
- Código C/A y portadora L1. También llamados monofrecuencias. Reciben las observables de código y fase de la portadora L1. La precisión de estos instrumentos ya es significativa, y son de aplicación topográfica y geodésica en pequeñas distancias (hasta 10 Km.).
- código C/A y portadora L1 y L2. También llamados bifrecuencias. Reciben las observables de código y fase de las portadoras L1 y L2. La precisión y el rendimiento son mucho mayores debido a la posibilidad de combinar los datos y formar en post-proceso combinaciones de observables que agilizan el cálculo y eliminan los errores de retardo atmosférico. Están indicados para trabajos de precisión y allí donde el rendimiento y los buenos resultados requeridos sean máximos.

Para nuestras necesidades de índole académico y de investigación en el área de Geodesia y Topografía, los receptores más convenientes son los de doble frecuencia, para montarlo como estación de referencia y los de una frecuencia como censor remoto, por lo que en este capítulo se darán a conocer las características de algunos de los diferentes tipos de equipos GPS de 2 frecuencias, que satisfagan las necesidades antes mencionadas ya que estos equipos están considerados como GPS (CORS).

III.1 LOS RECEPTORES GPS

El *Navegador* no permite realizar el tipo de posicionamiento diferencial y la precisión obtenida está en el orden de +/- 6 mts.

El *Posicionador* permite realizar el tipo de posicionamiento diferencial.

Los *Posicionadores Expeditivos* poseen un tamaño pequeño (de mano), y poseen antena incorporada de recepción de la señal GPS (rebatible o fija).

Los *Posicionadores Expeditivos Métricas* permiten obtener posiciones con una precisión del orden de los +/- 5 m.

Los *Posicionadores Expeditivos Submétricas* permiten obtener posiciones con una precisión de +/- 1 m o menor para distancias cortas entre el punto control y el remoto (hasta 10 km. aproximadamente). Alcanzan esta precisión debido a que la distancia satélite -receptor es calculada por medición de fase de la portadora L1, pero su resolución no es la misma que la que se obtiene con los receptores GPS Posicionadores de Precisión Geodésica.

Los *Posicionadores de Precisión* poseen un tamaño por lo general mayor que los Posicionadores Expeditivos. La antena de recepción de la señal GPS puede estar incorporada al receptor o exterior al mismo en cuyo caso va montada en un trípode y está conectada al receptor GPS por medio de un cable de 10 a 30 m de extensión.

Los *Posicionadores de Precisión de 1 Frecuencia* permiten obtener precisión de unos pocos centímetros para distancias de hasta 25 km aproximadamente. Utilizan la medición de fase de la portadora L1.

Los *Posicionadores de Precisión de 2 Frecuencias* permiten obtener precisión de unos pocos centímetros para distancias superiores a los 25 km.

Al trabajar con 2 frecuencias (L1 y L2) se disminuye la influencia del efecto ionosférico y podemos obtener precisiones centimétricas en grandes distancias. Este efecto de la ionósfera tiene relevancia en distancias superiores a 25 km, ya que a partir de aquí se considera que las condiciones ionosféricas para las estaciones control y remota son diferentes.

Los receptores *GPS De Precisión de 2 Frecuencias con código P* (además de utilizar el C/A) permiten obtener posicionamiento en tiempo real con mayor rapidez.

III.1.1 Precisión en las mediciones GPS

La precisión en la obtención de las coordenadas geodésicas de un punto del terreno utilizando medición GPS depende de varios factores, entre los que citamos:

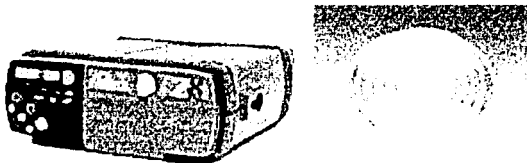
- Tipo de Posicionamiento (absoluto o diferencial).
- Método de Posicionamiento diferencial (estático o cinemático).
- Duración de la medición.
- Tipo de receptor GPS (navegador o posicionador).
- Distribución de los satélites en el horizonte (PDOP).
- Distancia entre los receptores.
- Configuración de la red en el caso de 3 ó más receptores trabajando simultáneamente.

Posicionamiento	Rango de precisión	Aplicaciones
Posicionamiento estático absoluto (C/A)	20 - 30mts	<ul style="list-style-type: none">• Ptos. trigonométricos• Navegadores• Navegación deportiva• Navegación aérea• Reconocimientos geofísicos
C/A con diferencial (mínimo de 2 equipos)	1 - 5 mts	<ul style="list-style-type: none">• Relevamiento expeditivo de instalaciones y servicios (gasoductos, pozos petrolíferos, caminos, etc.)• Operaciones hidrográficas (sondajes)
C/A diferencial + equipos submétricos. Aprovechamiento parcial del código P	0,3 a 1 mts	<ul style="list-style-type: none">• Áreas petroleras GIS
Fase L1	1 - 50 cm	<ul style="list-style-type: none">• Ubicación precisa de puntos• Catastro• Apoyo fotogramétrico.
Fases L1 y L2	1 - 15 cm	<ul style="list-style-type: none">• Cartografía• Ingeniería
Fases L1, L2 y parcial código P	1 - 10 cm	<ul style="list-style-type: none">• Geodesia de precisión

III.2 LOS EQUIPOS GPS (GORS).

En este subtema mostraremos los diferentes tipos de equipos, que cumplen con las características de una estación de referencia GPS geodesica.

GPS ASHTECH Z-FX SURVEY



GPS ASHTECH Z-FX SURVEY Y ANTENA CHOKERING (Cortesía de ASHTECH Inc.)

Receptor Ashtech, doble frecuencia Z-Surveyor. Receptor GPS integrado, compacto, de doble frecuencia, para todo tipo de trabajos topográficos en postproceso y en tiempo real.

El receptor Ashtech Z-Surveyor es un instrumento compacto, liviano, de 12 canales y de doble frecuencia que combina la tecnología Ashtech de seguimiento-Z en un conjunto que incorpora batería y tarjeta de memoria tipo PCMCIA. Para trabajos topográficos en tiempo real con precisiones centimétricas el receptor ofrece la posibilidad de usar un radio módem incorporado. Como es natural el receptor presta igualmente, un modo superior, al trabajo clásico GPS en postprocesado.

Trabajo con Z-Surveyor. El receptor Z-Surveyor puede ser empleado en las diversas técnicas o modos de trabajo GPS, ya sea en postprocesado o en tiempo real. Contempla los modos de trabajo estático, estático rápido, cinemático con paradas o continuo. En tiempo real, se usa un controlador manual. En aplicaciones de postprocesado se emplea simplemente el interfase usuario del receptor, con dos botones y la pantalla LED de una sola línea. Ashtech ofrece al usuario una diversidad de sistemas lógicos para el colector de datos incluyendo su propio programa GPSTopo, o bien el programa Topografía con GPS (TDS), el PEN MAP o el sistema ISSYS. Adicionalmente ofrecemos al usuario el posible empleo de otros colectores de datos incluyendo el SDR33, el Husky FS2 y una gran variedad de ordenadores manuales (pen computer).

Para trabajos diferenciales en tiempo real aplicando la fase (RTK), el receptor Z-Surveyor se puede utilizar, indistintamente, como unidad base o unidad móvil. Es rápido y fiable, y al utilizar la tecnología Seguimiento-Z, consigue un alto coeficiente señal ruido, lo que se traduce en mayor rendimiento, más alta fiabilidad y más alta productividad.

RECEPTOR ZFX-SURVEYOR. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.

Rendimiento.

Estático, estático rápido: 5 mm + 1ppm
Cinemático, postprocesado: 1 cm. + 1ppm.
Posicionamiento D6PS (RTCM): Submétrico.
Cinemático en tiempo real:
En movimiento (rms): Horizontal: 3 cm.
Vertical: 5 cm.
En reposo (rms): Horizontal: 1 cm.
Vertical: 1,7 cm.

Estático, tiempo de ocupación: 2 segundos, típico.

Se puede conseguir precisión subcentimétrica prolongando la ocupación.

Azimut (arco segundo): $0,15 + 1,5/\text{longitud de la línea base, en kilómetros}$.

Inicialización RTK al vuelo: fiabilidad superior a 99,9%. Los tiempos de inicialización se pueden reducir hasta 10 segundos si se dispone de ocho o más satélites.

Características standard.

- * Funcionamiento de 12 canales, todos-a-la-vista.
 - * Recuperación total de la portadora en L1 y L2.
 - * Seguimiento-Z, alto coeficiente señal-ruido.
 - * Cinemático en tiempo real, receptores intercambiables, precisión centimétrica.
 - * Tarjeta de memoria PCMCIA, extraíble.
 - * Batería incorporada, reemplazable, hasta 4,5 horas de funcionamiento.
 - * Pantalla LED de 8 caracteres.
 - * Pantalla integrada para control del receptor con solo dos botones.
 - * Alarma audible de baja potencia en la batería.
- Indicación en la pantalla del nivel de energía disponible.
- * Velocidad de muestreo seleccionable: 1 ó 2 Hz.
 - * Salida de datos en tiempo real.
 - * Admisión de correcciones diferenciales RTCM 2.1.
 - * Salida de datos NMEA 0183.

Accesorios standard.

- Programa de comunicaciones.
 - * Programa de configuración y de monitorización de la señal "Evaluate".
 - * Batería interna.
 - * Cargador de batería doble, 220VAC.
 - * Cable de datos RS232.
 - * Manual de funcionamiento.
 - * Tarjeta de referencia rápida.
 - * Balsa de transporte con bandolera.

Programa de comunicaciones

El programa de comunicaciones le permite configurar el Z-Surveyor con rapidez y facilidad sean cual sean las aplicaciones. El programa corre sobre Windows 3.11, Windows 95 o Windows NT.

Características eléctricas.

- * Consumo: 7,5 vatios.
- * Alimentación: 10-28 VDC.

Alojamiento:

- * Resistencia al agua: Cumple la especificación MIL-STD 810E en lo que se refiere a polvo y lluvia arrastrada por el viento.
- * Temperatura:
 - Funcionamiento: -20/+55°C
 - Almacenamiento: -30/+75°C

Características físicas.

- * Peso: Receptor: 1,867 kilos.
- Antena: según tipo.
 - Dimensiones: 7,6x18,5x21cm.

Batería interna.

- * Rango de temperaturas: -20/+50°C.
- * Tensión de salida: 12 VDC.
- * Capacidad: 3100 mAh.

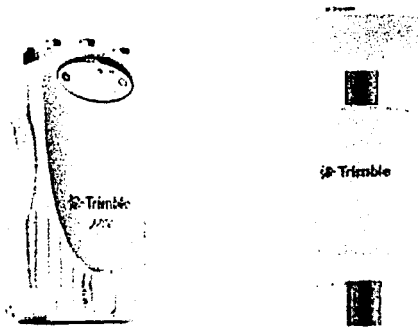
Tarjeta de memoria.

- * Tipo: Tarjeta PCMCIA, tipo ATA II
- * Rango de temperaturas: -40/+85°C.
- * Número típico de épocas: 4500 por cada 2 Mb.

Características opcionales.

- Radio módem interno para trabajos topográficos RTK.
- Tarjeta de memoria PCMCIA: 2, 4, 8, 10, 20 y 85 Mb.
- Generación de correcciones diferenciales en formato RTCM.

GPS TRIMBLE 5700



GPS TRIMBLE 5700 (Cortesía de Trimble Corporation.)

Al desarrollar el sistema de posición global (GPS) 5700 se ha perfeccionado cada fase del circuito de producción, creando una estación total es decir una solución total. T5700 sistema de Station de Trimble GPS Total tiene verdaderamente integrado todo el sistema de Trimble, con sistema de posición global (GPS), radios, controlador de estudio, y software de oficina todo como costumbre desarrollado por Trimble para un circuito de producción totalmente integrado.

El sistema de posición global (GPS) estación 5700 es bastante simple el más avanzado y versátil estudio solicita el instrumento mas preciso. El sistema de trimble 5700 es tan cómodo en su manejo que con solo pulsar con un dedo las teclas de funciones se están reuniendo los datos cinemáticos en tiempo real.

Cuando hace una inversión en un sistema de posición global (GPS) de Trimble se consigue más que un instrumento de estudio avanzado. El 5700 sistema de estación es realmente tan completo integra la solución de surveying™: un receptor, un controlador de mano, antena de sistema de posición global (GPS), radio de RTK, complete con Trimble Geomatics Office™ el software de proceso. Diseñaba por Trimble y todo atado junto en el entorno de caja de herramientas de Trimble que esta favoreciendo rápidamente los estándares mundiales para la topografía y geodesia de alta precisión.

Datos fiables fluyen en el entorno de la caja de herramientas del trimble 5700 un controlador sencillo maneja todos los instrumentos, la simplicidad de su manejo es única con el controlador TSC1™, ya que en el combina y correlaciona de forma automática los datos unificando lo sencillo.

RECEPTOR GPS TRIMBLE 5700 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.

Rendimiento

- *Enteramente sellado radio MODEM integrado.
 - *Almacenamiento de datos expandible hasta 96MB.
 - *USB integrado para descarga rápida.
 - *Hasta 10 horas la operación de receptor continua con 2 baterías de camcorder en miniatura.
 - *Al frente el panel para el control de poder, registro de datos, el formato de las tarjetas PCMCIA, efemérides astronómicas y supresión de archivo. Elija a su juicio los indicadores para rastreo de satélite, radio registro de datos de operación de enlace y control de poder.
 - *Consumo de poder bajo.
 - *Múltiple precisión L1 y L2 medidas de pseudo-distancias.
 - *Transportador de L1 y L2 de ruido muy bajo ejecuta en fases las medidas con 1mm de precisión en un ancho de banda de 1Hz.
 - *24 canales en L1 C/A Code, L1/L2 pasa por un ciclo entero, transporta a WAAS/EGNOS.
- (GPS) diferencial**
Horizontal: 0.25m + 1ppm
Vertical: 0.50m + 1ppm
- Estático y rápidamente (GPS) estática**
Horizontal: $\pm 5\text{mm} + 0.5\text{ppm}$
Vertical: $\pm 5\text{mm} + 1\text{ppm}$
- cinemático**
Tiempo real.
Horizontal: 10mm + 1ppm
Vertical: 20mm + 1ppm
0.02 segundos (20 milisegundo) la latencia
Tiempo de inicialización: sencilla/multi-bases eRTK
10s mínimo + 0.5 tiempos
de línea base la longitud en km, hasta 30km la inicialización de VRS cronometra 30s típica dentro del área de cobertura.
Fiabilidad: Típicamente >99.9%
- Física**
Cubierta: aleación de magnesio enteramente sellada de poco peso
Material impermeable: IPX7 para la sumergimiento a la profundidad de 1 metro
Peso: Con baterías interna, radio interno, las baterías internas cargador de acumuladores, la antena de UHF estándar: (1.4kg)

con RTK: con baterías, menos de 4kg.

Eléctrico

- Poder: entrada de 10.5 a 28V con sobre protección de voltaje
 - Consumo de poder: 2.5V sólo, 3.75V incluyendo radio interno
 - Batería: Aproximadamente 10hrs post-proceso, 7 horas en RTK (con dos baterías internas en miniatura)
 - Peso de batería: 0.1kg
 - Potencia de salida: 10.5V - 20V (puerto1), 10.5V - 27.5V (puerto 3)
 - Temperatura eventual de funcionamiento: -40° para +65° C
 - Temperatura eventual de almacenamiento: -40° para +80° C
 - Humedad: 100%, condensar
 - *2 puertos de poder externos, 2 puertos de batería internos, 3 puertos de serie, 1
- USB**
- *USB integrado para los datos descarga las velocidades más que 1 MB por segundo (10 veces mas rápido)
 - *Las opciones de 48Mb o 96Mb de Trimble en memoria.
 - *Más de 2,500 horas continuas L1+L2 a 15 segundos con 6 satélites típico. (96Mb)
 - *Opción de radio MODEM de UHF interna integrada, enteramente sellada
 - *GSM, para teléfono celular y apoyo de modem de CDPD para eRTK y VRS.
 - *Antena de polo para eRTK cinemático de tiempo real de área. Para comunicaciones UHF de largo alcance sin la interferencia a GPS la antena ejecuta en fases centro.
 - *Entradas de marcador de evento duales.
 - *1 pulso por segundo de salida.
- Antena**
- *Dimensiones: 34.3cm (13.5 ") x de diámetro 7.6cm (3 ") profundidad máxima.
 - *Peso: 1.0kgs.
 - *La temperatura de trabajo -40° para +70°C.
 - *100% prueba de humedad, enteramente sellado.
 - *Choque examinado en el concreto de 2 metros.
 - *Amplificador de ruido bajo integral.
 - *50dB de ganancia de la antena.
 - *Fase horizontal de Repetible 1mm de centro.

GPS SOKKIA RADIANT IS



GPS SOKKIA RADIANT IS (Cortesía SOKKIA Corporation)

Su conexión inalámbrica el nuevo colector de datos de nivel 5 de SDR a una antena enteramente integrada, batería de poder, el Radián IS es la solución de sistema de posición global (GPS) de exactitud alta comprensiva para las tareas del futuro. Radián IS esta creado para su uso en aplicaciones cinemáticas por medio de post-proceso y en tiempo real tal como topografía geodesia y construcción, con recopilación de datos de SDR un software gráfico examina el espectro de las señales, amistoso para los datos de post-proceso.

La nueva placa de OEM4 GPS es una razón porque el receptor conjunta, antena, memoria de datos y la baterías pueden estar integradas en el cuerpo de poco peso, el componente de potencia bajo. La antena usa tecnología de molinete para alinear precisamente la fase de L1 y L2 centra y minimiza el multi-paht al mismo grado como una antena de anillo de sofocamiento.

Datos confiables cualquiera que fuese su aplicación el Radian IS tiene en L1 y L2 una recepción de 12 canales los cuales manejan post-proceso y cinemáticos en tiempo real.

Capaz para sobrevivir a los entornos duros una goma choca como parachoques, los plásticos industriales que lo reforan hacen de el radián es un producto muy resistente es decir capaz para resistir una caída de 2 m al piso de concreto.

El Radian IS es de fácil manejo este equipo esta diseñado siempre teniendo en cuenta a los usuarios, es decir que el tiempo de aprendizaje del equipo es muy corto. Si se pone el receptor en modo RTK empieza de forma automática la operación, el usuario solo necesita familiarizarse con el receptor y ser un poco intuitivo después el circuito SDR le permite poner a trabajar el sistema de forma inmediata y automática.

El software de procesamiento de información provee muy variadas herramientas para hacer el procesamiento de datos mas automatizado, detecta el disparó de errores y una pantalla grafica interactiva de los datos, haciendo así lo simple aun mas simple procesando los datos aun para el novato, los controles avanzados están disponibles para usuarios experimentados.

RECEPTOR GPS SOKKIA RADIAN IS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.

Peso de receptor.

- *Receptor baterías y antena: 1.7kg.
- *Con radio RTK: 3.63kg.
- Tarjeta de memoria desmontable: 8Mb.
- Captura de datos a 10s y 8 satélites : >50hrs (BMB).

Rastreo e inicialización.

- *Inicio frío: 90s.
- *Inicio caliente: 30s.
- *Readquisición: 10s.
- *RTK inicial rehabilitado: 99.90%.
- *RTK inicial(tiempo): 30s.
- Resistencia : caída de 2m a piso de concreto.

Rendimiento.

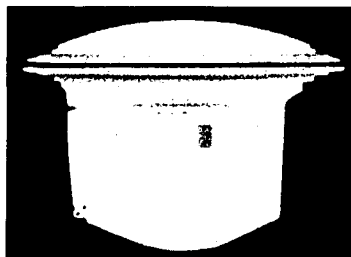
- *RTK a 1 Hz (horz.): 1cm + 1ppm.
- *Vertical: 2cm + 1ppm.
- *RTK a 5 Hz (horz.): 1cm + 1ppm.
- *Vertical: 2cm + 1ppm.
- *Estático (horz.): 5mm + 1ppm.
- *Vertical: 1cm + 1ppm.
- Numero de canales: 12.
- Numero de puertos en serie: 2.
- Bits Max: 115,200.

Representación visual por LEDES.

- *Poder: si.
- *Rastreo de SV: si.
- *Memoria disponible: si.
- *Cronometro de ocupación: si.

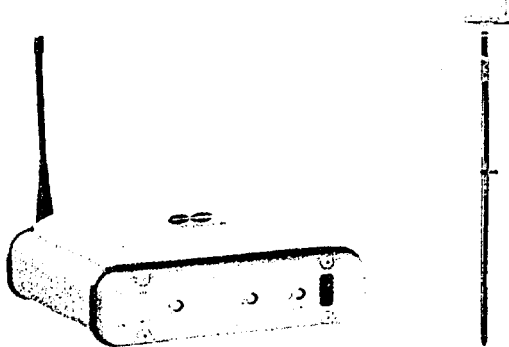
Eléctrico.

- *Tipo de batería: 2 de li-ion (BDC46) de intercambio caliente.
- *Recargables: si.
- *Duración de batería: > 4hrs.
- *Opción de alimentación externa: si.
- *Wattage (W/o radio) : 4.
- Temperatura de funcionamiento: -20° a 55°C.
- Resistencia al agua: Si.
- Antena.
- *Ejecución de anillos de sofocamiento con tecnología Pinwheel.



GPS SOKKIA STRATUS CON PANEL DE CONTROL
(Cortesía SOKKIA Corp.)

GPS TOPCON HiPer



GPS TOPCON HiPer (Cortesía TOPCON)

Se distingue un receptor de otros según su funcionamiento y precisión y se pueden considerar cómo buenos si puede seguir la pista de los satélites bajo todas las condiciones dinámicas y ambientales. Especialmente en el mundo de hoy con sistemas de comunicación crecientes que utilizan el "cielo", y va en aumento la urbanización, el uso práctico del sistema de posición global (GPS) se puede obstruir de muchas maneras. La tecnología de Topcon son únicas ya que cuentan con un sofisticado sistema que suprime la interferencia/salto de banda. Siguiendo la pista de soluciones de reducción de multipath, encontraremos que todos los receptores de Topcon inician rápido y especialmente bajo condiciones duras con cielos limitados. Su uso puede ser combinado el sistema glonass los receptores de Topcon permiten medir puntos no accesibles y con gran precisión.

El GPS HiPer es un diseño que integra el receptor de sistema de posición global (GPS), antena, radio y suministro de fuerza en un paquete sencillo. Eliminando todos los cables exceptuando el que va al controlador. Esta unidad es de fácil manejo y cuenta con un software muy amistoso que corre en Windows.

Características claves:

- Supresión de Interferencia/salto en banda.
- Rastreo de cooperativo de satélites.
- Rastreo de GPS-L2
- La reducción de Multipath con el proceso de señales.
- Detección de tiempo real y corrección del ciclo.

Especificaciones Técnicas

Ejecución estática: 3mm + 1ppm para L1+L2, 5mm + 1.5ppm para L1.

Ejecución RTK: 10mm + 1.5ppm para L1+L2.

Rastreo: L1, L1+L2, CA y código P.

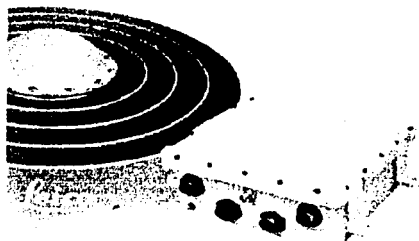
Canales: 40 canales en L1, 20 L1+L2 GPS.

Memoria Interna: Hasta 96Mb.

Poder: 3.3Watt de 6 a 28V DC.

Peso: 1.690kg.

GPS LEICA CRS 1000



GPS LEICA CRS 1000 (Cortesía de Leica Geosystems)

El más poderoso sistema CORS en el mundo entero una solución completa el sistema de CORS avanzado de Leica utiliza la CRS 1000 receptor de sistema de posición global (GPS), y el software más poderoso basado en Windows NT. Todo lo que necesita es una estación de referencia de sistema de posición global (GPS) permanente. Su CRS1000 incluye la integración libre en la referencia global con el procesamiento de datos que se lleve a cabo por una universidad. CRS1000 simplemente el mejor bastante simplemente, no existe ningún receptor de sistema de posición global (GPS) en el mercado es decir así de avanzado: 12 canales de rastreo de frecuencia duales, la estabilidad del reloj más alta (10-11) en la industria, la inmunidad de interferencia de señal avanzada, Leica patentada siguiendo la pista de técnicas, el más poderoso procesador en cualquier receptor de sistema de posición global (GPS), los datos de velocidad altos superfinos transfiriendo-salvando tiempo y teléfono cuestan, y mucho más. Las medidas de sistema de posición global (GPS) pueden ser de salida para post-proceso, el uso en tiempo real, o ambos. Cualquier medida diferencial es única tan bien como el receptor de referencia. Construido para afrontar la prueba de tiempo. Tiene un resistente, haga a prueba del mal tiempo en el aluminio alojando con los conectores de estilo militar para asegurar la ejecución más confiable aún en las condiciones atmosféricas más adversas. Cada puerto puede ser configurado por el usuario para ser RS232 o RS422 con una proporción de datos de entre 300 y 115k baudios. La flexibilidad de la configuración portuaria significa que es posible unir dos módem de radio, por ejemplo, un RTCM de transmitir formatea mensajes, y los otros transmisores Leica RTK envían mensajes. Adicionalmente, el CRS1000 se puede ajustar con hasta 60MB de memoria interna. La antena con anillo de sofocamiento de dualidad incluida en el sistema, atiende la norma internacional del IGS. Esta antena se caracteriza por el rechazo de multipath superior, con una compresión de fases estabilidad de centro, y es resistente a la interferencia de RF. Este estándar requerido para redes de sistema de posición global (GPS) permanentes alrededor del mundo es suministrado como parte del Leica avanzado sistema de CORS. Opciones adicionales habilitan acceso de FTP/Internet directo a los datos registrados.

RECEPTOR GPS LEICA CRS1000 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.

Recepción

Canales: 12 L1 C/A o código P.
12 L2 o código P.

Antena

AT504 L1/L2 Gold Alodine Choke Ring Precision elaborada de un bloque de aluminio sólido.
Elemento: Dorne y Margolin C-146-10
LNA: 26dB, pre-amperio: 5-30 VDC, 22mA

Exactitud de medida:

L1: 1mm RMS, 1s.
L 1 C/A : < 5 cm RMS, 1s.
L2: 1mm RMS, 1s.
L2 código P: < 5 cm RMS, 1s.

Reloj

Oscilador cristalino controlado OCXO:
*Estabilidad a corto plazo 3x10/s.
*Estabilidad a largo plazo 1x10días.

Puertos de datos

4 puertos de serie: RS-232 o RS-422 programable
Tasa de datos: 300-115 baud.
Bi direccional (dúplex).
los conectores de estilo militares dan protección de voltaje.

Software

Control Station software bajo Windows NT
proveyendo registro de datos, control de receptor, acceso a internet y acceso de modem.

Físico

Temperatura de trabajo física:
*Receptor: -20° a +55°C.
*Antena: -40° a +75°C
Resistencia al agua: Sellada, resistente a la lluvia IAW IEC 529IP.2
Tamaño (hxdxh):
*Receptor: 28 x 22 X10cm.
*Antena: 14.6 x 14.6 x 5.1cm.
Peso:
*Receptor: 3.4kg.
*Antena: 4.3kg.

Eléctrico

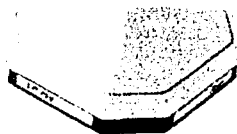
Receptor: 12 -15 los vatios, 11 a 31 VDC.
Antena: 5-30 VDC, 22mA.

Opciones RTK

Actualizaciones de posición: hasta 10/sec.
Latencia de posición: 30 msec.
La resolución de ambigüedad de OTF después de la pérdida de señal: 1 min.
Exactitud remota típica de RTK: 0.5cm + 1ppm, horizontal, 1 sigma.
1cm + 2ppm, vertical, 1 sigma.
Exactitud DGPS: 30cm + 2ppm, horizontal, 1 sigma.
60cm + 2ppm, vertical, 1 sigma.
Dinámico: 3g.

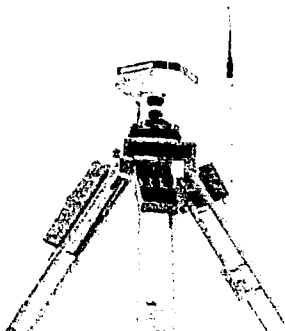
Hasta el momento se han mencionado los equipos mas actuales que serian los mas útiles a nuestro planteamiento de establecer una estación de referencia geodesica en la facultad pero son equipos con los cuales no contamos, pero para los fines que buscamos a continuación mencionaremos dos de los equipos con los que cuenta la facultad y cumplen con las características antes mencionadas.

GPS LEICA SR399



GPS SR399 (Cortesía de Leica-Geosystems)

Este es el receptor de doble frecuencia de leica el cual tiene integrado el receptor a la antena, consta de un controlador CR344, la característica fundamental del GPS reside en la necesidad de realizar observaciones diferenciales, el leica SR399 esta diseñado para efectuar levantamientos en modo estático, estático rápido, recuperación, stop and go y cinemático. El sensor es controlado por la unidad de control o a través de una PC con el programa SPCS O Wild Base. También para el proceso de datos es necesario el software de SKI, todos los trabajos o tareas que realice con la SR399 tiene una gran precisión.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

RECEPTOR GPS LEICA SR399 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Inicialización (resolución de ambigüedades)

*Estático rápido: Si.

*Sobre punto conocido: Si.

*On the fly (en movimiento): Si.

Numero de satélites requerido: 5 sobre L1 y L2 (GDOP < 8).

Modo medicion/precision de línea

*Estático (estacionario hasta unos 15 minutos después de inicialización):

5 mm + 1 ppm.

*Estático rápido (inmediatamente después de la resolución):

5 a 10 mm + 1 ppm.

*On the fly (modo en movimiento, inmediatamente después de la resolución):

10 mm + 2 ppm.

*Stop and go (modo en movimiento):

10 mm + 2 ppm.

*Cinematico

(modo en movimiento): 10 mm + 2 ppm.

Precisión planimétrica: Típicamente como precisión de línea base.

Precisión altimétrica: Típicamente 2x precisión de línea base.

Rango máximo (según radio modem empleado): Unos 10 km.

Tiempo de inicialización:

*Estático rápido: aprox. 1 min.

*Sobre punto conocido: 15 s.

*On the fly (en movimiento): aprox. 1 min.

Tiempo para punto con marca de tiempo:

2 a 3 s.

Visualización control de calidad: EMC de la medida.

Medio de registro: Tarjetas de 0,5 MB y 2 MB

Memoria interna opcional de 1 MB en unidad de control.

Registro de datos en tiempo real

*Capacidad para datos en tiempo real 0,5 MB
1 MB 2 MB

*Numero de puntos (aprox.)

1500

3000 6000

Registro de datos brutos

Capacidad para datos brutos (aprox.) 0,5 MB

1 MB 2 MB

5 sat. sobre L1 y L2, cada 2 s. 1,2 horas

2,4 horas 4,8 horas

5 sat. sobre L1 y L2, cada 5 s. 3 horas

6 horas 12 horas

5 sat. sobre L1 y L2, cada 15 s. 9 horas

18 horas 36 horas

Suministro de energia/consumo: 12 V.

Sensor y unidad de control: 12-13 W.

Radio modem en estación de referencia: 3 W para Satellite I AS.

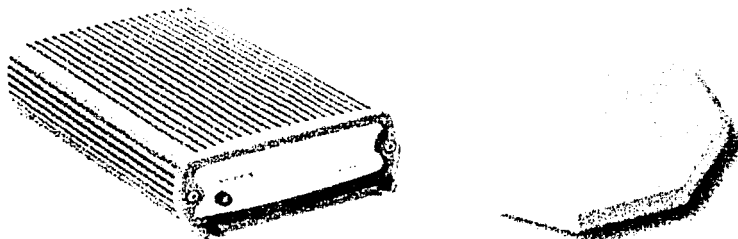
Radio modem en estación móvil: 1 W para Satellite I AS.

Bateria/autonomia: GEB71 Cd Ni, 12 V 7 AH.

En estación de referencia: aprox. 4 a 5 horas continuas (con Satellite).

En estación móvil: aprox. 5 a 6 horas continuas (con Satellite).

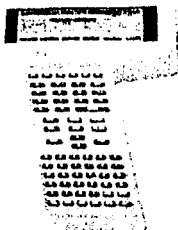
GPS LEICA SR9400



RECEPTOR GPS LEICA SR9400 Y ANTENA AT201 (Cortesía de Leica Geosystems)

Nuevas posibilidades para GPS de una frecuencia Gracias a las medidas de fase de portadora y de código de alta precisión, el SR9400 abre un amplio campo de aplicaciones para la técnica GPS de una frecuencia, levantamientos topográficos, de detalles y de ingeniería civil que presentan una precisión centimétrica con fase diferencial, levantamientos batimétricos, cartográficos y SIG que presentan una precisión de menos de un metro con código diferencial. Grabación de datos y post-proceso. Levantamientos GPS en tiempo real la versatilidad del SR9400 simplifican el acceso a GPS y proveen soluciones a muchos trabajos: Levantamientos de control de líneas cortas y medias, cuando los tiempos de observación muy cortos no son esenciales y la influencia de la ionosfera no repercute negativamente en las observaciones. Medidas cinemáticas. Levantamientos en tiempo real Grabación de datos y post-proceso Cuando el SR9400 esta conectado a una unidad de control, el programa Base Station o el programa SPCS, es posible grabar medidas de código y fase para el post-proceso a través de SKI-L1. El sensor soporta los modos de medición estático, estático rápido, recuperación, stop and go y cinemático. Las precisiones de líneas base son: 5-10mm +2ppm con fase diferencial y de 30-50cm con código diferencial.

Sensor GPS SR9400 con antena AT201 El sensor SR9400 es pequeño, compacto, robusto, pesa solo 1,3kg y es capaz de rastrear hasta 12 satélites simultáneamente. La antena externa AT201 pesa solo 0,6kg El SR9400 ofrece: Las mas potentes señales para el seguimiento de satélites de baja elevación y cuando las condiciones son adversas Para aplicaciones DGPS, la unidad de control CR344, el programa de estación de referencia y el programa SPCS ofrecen entrada y salida de correcciones RTCM V. 2.0



CONTROLADOR CR344 LEICA (Cortesía Leica Geosystems)

Equipos para el Sistema de Posicionamiento Global

Hasta ahora ya hemos visto los diferentes tipos de receptores GPS de doble frecuencia de distintas marcas con las mejores precisiones que hay en el mercado, a continuación se muestra una tabla de comparación de los diferentes equipos y algunas características técnicas.

Especificaciones		ASHTECH ZFX Survey	TRIMBLE 5700	SOKKIA RADIAN IS	TOPCON Híper	Leica CRS 1000	Leica SR 399	Leica SR 9400
Recepción de la señal	Código C/A.	♦	♦	♦	♦	♦	♦	♦
	Fase L1	♦	♦	♦	♦	♦	♦	♦
	Fase L2	♦	♦	♦	♦	♦	♦	-
	Código P sobre L2	♦	♦	♦	♦	♦	♦	-
	Código P sobre L1	♦	♦	-	-	♦	♦	-
Canales de Recepción		12	24	12	20	12 (dual)	12	12
Precisión de la base con postproceso	Estático base larga prolongado tiempo de observación	± 3mm + 0.5 ppm	± 5mm + 0.5 ppm	± 5mm + 1 ppm	± 3mm + 1 ppm	± 3mm + 1 ppm	± 5mm + 1 ppm	± 5mm + 2 ppm
	Estático y estático rápido	± 5mm + 1 ppm	± 1cm + 1 ppm	± 1cm + 1 ppm	-	± 5mm + 1 ppm	± 1cm + 1 ppm	± 1cm + 2 ppm
	Cinematica en movimiento	± 1cm + 1 ppm	± 1cm + 1 ppm	-	-	± 1cm + 1 ppm	± 1cm + 2 ppm	± 1cm + 2 ppm
Tiempo real	Estático rápido	± 5 mm + 2 ppm	± 2.5cm + 1 ppm	± 1cm + 1 ppm	± 1cm + 1.5 ppm	± 5mm + 1 ppm	± 1cm + 2 ppm	-
Posición de navegación		13m-16m	18m	-	-	-	-	-
Memoria (tarjetas)		PCMCIA	PCMCIA	PCMCIA	PCMCIA	PCMCIA	PCMCIA	PCMCIA
Tiempo Real		Opcional	Opcional	Opcional	Opcional	Opcional	Opcional	Opcional

En la tabla anterior observando y comparando las características de todos los equipos expuestos, se nota a simple vista que todos entran casi en los mismos rangos de precisión, pero también podemos ir descartando equipos, la facultad cuenta con los receptores SR 399 y SR 9400, pero para emprender la puesta en marcha de una estación necesitamos adquirir un equipo un equipo de vanguardia, los equipos de SOKKIA y TOPCON son de lenta respuesta y no están diseñados para hacer la función de estación de referencia, pero quedan tres opciones para este fin, los receptores presentados de ASHTECH, TRIMBLE y Leica, los tres receptores son buenos el ASHTECH ZFX Survey cuenta con 12 canales y mejor precisión que el TRIMBLE 5700 el cual tiene 24 canales pero menor precisión, el Leica CRS 1000 tiene 12 canales duales y una precisión igual a la del ZFX Survey.

Comentado lo anterior, sería entonces necesario pensar en buena precisión y además compatibilidad con los equipos existentes en la facultad aunque los datos de todos los receptores se archivan en formato RINEX, el software de post proceso de los equipos existentes en la facultad le podría servir a una estación CRS 1000 Leica ya que cada Marca de equipo GPS utiliza su propio lenguaje y programas de proceso y manipulación de datos GPS, además el receptor CRS 1000 esta diseñado exclusivamente para ser una estación de referencia.

CAPITULO IV
INFRAESTRUCTURA REQUERIDA

INFRAESTRUCTURA REQUERIDA

La Facultad de Ingeniería cuenta con la infraestructura adecuada para la colocación de una estación de referencia en cualquier área del edificio principal ya sea el edificio A o el edificio B, pero ¿el por qué colocar una estación?. La aparición del sistema GPS impuso una auténtica revolución en los diversos sectores Topográficos, Cartográficos y Geodésicos. Actualmente, superada esa etapa, nos encontramos con el desarrollo y la aplicación de dicho sistema en todos los sectores posibles, bajo las más diversas condiciones y con una amplia variedad de resultados. Los últimos avances de este sistema en aplicaciones Cartográficas y GIS apuntan hacia la ampliación de estaciones GPS de carácter permanente, la utilización de un solo equipo en campo y el desarrollo del tiempo real, combinado con la mejora de las precisiones obtenidas en las medidas y el aumento de la fiabilidad de los resultados.

El sistema GPS es, hoy en día, la vanguardia de la tecnología aplicada en las diversas actividades Topográficas, Cartográficas y Espaciales. El alto grado de precisión, a bajos costos y el máximo rendimiento hacen que este sistema sea la única propuesta de presente y futuro frente a los métodos tradicionales.

Las características técnicas del equipo con el que contamos va a satisfacer las necesidades de cualquier usuario GPS, permitiendo una mayor flexibilidad en el trabajo, consiguiendo un cien por cien de compatibilidad entre diferentes equipos y asegurando un alto grado de precisión y fiabilidad en los resultados. La estación de Referencia GPS se compone de un equipo de doble frecuencia con medidas de código y fase, dotado de los dispositivos adecuados que faciliten el empleo por parte de los usuarios tanto en Tiempo Real como en Post-Proceso, además de gestionar ficheros RINEX de formato universal. Los objetivos principales del estacionamiento de esta antena de Referencia son:

- Ampliar la red de estaciones de Referencia GPS, contribuyendo al desarrollo de este sistema por todo México.
- Facilitar los datos de la estación a cualquier usuario, bien en Tiempo Real (radio-módem, telefonía GSM), bien en Post-Proceso (Internet, BBS).
- Conseguir coordenadas precisas UTM con gran fiabilidad en el menor tiempo posible, reduciendo considerablemente los costos y aumentando la calidad de los trabajos.
- Estar a la vanguardia tecnológica en los correspondientes sectores de la Ingeniería.

En este tema se tratarán los componentes, el emplazamiento, la puesta en marcha y las utilidades de dicha Estación de Referencia.

IV.1 SELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO

Una consideración importante al escoger un sitio es una vista clara del cielo sin las obstrucciones sobre un ángulo de inclinación de 10-15 grados. Hay que tener presente que árboles altos, densos cerca del sitio pueden contribuir para pérdida intermitente de la señal. Cerca de la antena no deben de haber muros u obstrucciones ya sea vertical u horizontal ya que estos pueden causar problemas serios con la interferencia multipath. Por regla general, un edificio de un piso debe estar al menos 30m lejos de edificios más altos.

Otros reflectores fijos potenciales pueden ser objetos de metal localizado en los alrededores, y los reflectores de tiempo variante tal como automóviles, los vehículos móviles, etc. Incluya fuentes potenciales de la interferencia de radio tales como torres de televisión de alto poder o transmisión de microonda. Idealmente, el sitio debe estar por lo menos a 1 km alejado de tales estructuras.

Las condiciones atmosféricas son normalmente un factor para selección del sitio permanente para la automatización y mantenimiento de la estación y esta resista a la intemperie. El clima local dictará principalmente el modo de cuidado de la antena. Por ejemplo, en un clima frío, la nieve acumulada en la antena pueda convertirse en un factor.

IV.1.1 Ubicación de la Antena.

Al ser la Facultad de Ingeniería poseedora de una estación de referencia, se puede decir que es la entidad encargada del control, mantenimiento y gestión de la antena GPS de referencia, la colocación de la antena se hará en algún edificio de la Facultad. Solamente hay una opción para el la ubicación de la antena el edificio principal ya sea en el edificio A o el B.

Para la decisión definitiva de la ubicación de la antena, los criterios que se siguieron fueron:

1. Libertad de obstáculos que impidiesen o distorsionasen la señal GPS.
2. Emplazamiento geológicamente estable, es decir, que el terreno no sufriese deformaciones, o en el peor de los casos, éstas fuesen conocidas y medibles.
3. Fácil conexión a la red eléctrica y telefónica, con especial atención a la conexión a Internet.
4. Fácil acceso que permitiese la realización de una nivelación geométrica.

IV.2 ANÁLISIS DE LOS EDIFICIOS

Para determinar cuál de los emplazamientos cumplía mejor el primero (y más importante) de los criterios, una vez elegido el edificio sobre el que realizar el estudio, se procedió a efectuar un estudio más detallado. También a simple vista, se determinó en cada edificio el punto exacto de posible colocación de la antena de referencia atendiendo a los criterios 3 y 4 citados en el subtema anterior.

Cabe destacar que para analizar los edificios también se realizaron en cada uno observaciones para determinar que obstáculos se presentaban en cada uno en un radio de 360° horizontales y 15° de elevación vertical y ambos edificios resultaron limpios de obstáculos a esa elevación vertical las lecturas se hicieron cada 10° horizontales, esto se realizo con un T2 de Wild.

IV.2.1 Facultad de Ingeniería edificio A.

Ventajas

La altura, puesto que el punto de estudio se encuentra hacia la parte Norte del edificio, este punto esta monumentado y es una estación Laplace, disponiendo de una amplia visibilidad, en todo el horizonte teniendo el mismo despejado a 15° de elevación vertical, aunque el acceso a la parte superior del mismo es más complicado, necesitando para ello una escalera auxiliar. Gracias a esta gran visibilidad se podrán observar algunos vértices geodésicos, pudiendo determinar las coordenadas de la antena tanto por métodos espaciales como tradicionales (triangulación).

Desventajas

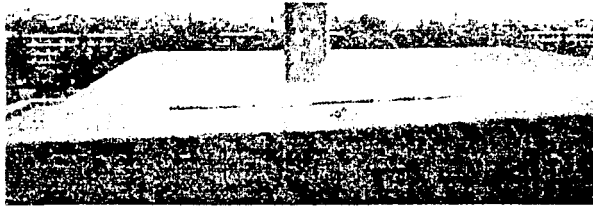
El primero es que el edificio en el cuarto piso tiene cubículos de la división de ciencias de la tierra y los laboratorios de división de Ingeniería Civil Topográfica y Geodesica en los cuales la carrera de Ingeniería Topográfica no tendría la autonomía de operar la estación pues siempre dependería de otras instancias. Si consideramos el laboratorio de algún profesor de Topografía como posible lugar de instalación de una computadora que gestione la antena, sería necesario usar un cable de gran longitud (superior a los 70 metros) para llevar las observaciones de la antena hasta la computadora, lo que afecta a los archivos de observación, puesto que no es lo mismo que las observaciones recorran por el cable 20 metros que 100 al oponer el cable una resistencia pudiendo ocasionar en algún caso la pérdida de la señal, además de la cantidad de obra de albañilería necesaria para llevar el cable de la antena hasta la computadora con el costo que ocasionaría.

El segundo inconveniente es que se encuentra ubicada una antena de televisión a unos 15 m al sur del monumento esta no afecta los 15° de elevación pero puede interferir en la recepción de la señal de la antena y aparte en la misma dirección existe la cúpula de SAFIR que esta como a 20m la cual esta

Infraestructura Requerida

constituida de metal y tampoco obstruye el horizonte pero puede podría causar rebote en la señal aunque aquí en este punto se realizo una prueba y resultado satisfactoria.

El tercer inconveniente se debe a que la torre de Humanidades II que se encuentra aproximadamente a 100 m al NE y tiene una antena de radio lo cual tal vez podría afectar ocasionalmente la señal del receptor.



Facultad de Ingeniería Edificio A Azotea.

IV.2.2 Facultad de Ingeniería edificio B.

Ventajas

Básicamente tres. La primera es, que en este edificio la carrera de Ingeniero Topógrafo y Geodesta en la azotea de este edificio cuenta con una cúpula y con un punto ya establecido, siendo éste el sitio más adecuado para el mantenimiento y gestión de la antena de referencia. La segunda, y una de las más importantes, es que el departamento de Geodesia y Cartografía de la carrera, solicito la remodelación y acondicionamiento de la cúpula así como anexarse un aula en el cuarto piso en este edificio, esto nos da la idea a largo plazo, para que esta sea la mejor opción, pues seria operada permanentemente por este departamento que esta solicitando estos beneficios y el tercero es que el horizonte a 360° cumple con la elevación mínima vertical de 15° sin obstáculos y el cable de la PC al receptor no rebasaria los 30m.

Desventajas

Se podrían mencionar básicamente dos desventajas la primera y mas importante es que el punto localizado en el edificio se encuentra en una unión que tiene el mismo edificio ya que este esta separado aproximadamente 25cm y no es notorio ya que en la azotea se encuentra unido por un volado, lo recomendable es mover el punto 2m hacia el este en dirección a la cúpula para evitar errores por movimientos de ambas estructuras y solo este apegada a una sola. El segundo es que también existe nuestra cúpula de metal a unos 25m al este que podría ocasionalmente rebotar la señal, lo bueno es que no obstruye el horizonte a 15° de elevación vertical.



Facultad de Ingeniería Edificio B Azotea.

IV.2.2 Conclusión.

Una vez analizadas las dos opciones la mas conveniente es la segunda opción el edificio B por que es la que tiene menos inconvenientes y además la carrera cuenta con un lugar propio para manejar la estación a escasos 30m de ella.

IV.3 REQUERIMIENTOS BÁSICOS

En este subtema se comentaran los factores, con los cuales debemos cumplir para el establecimiento de la estación (CORS), estos factores son los siguientes: monumentación, suministro eléctrico, comunicaciones y seguridad.

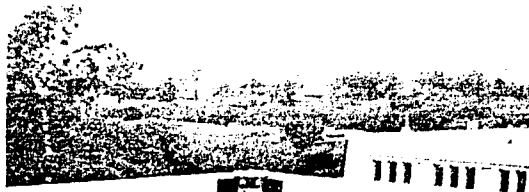
IV.3.1 Monumentación.

Una estación permanente, debe de tener un monumento de alta calidad que soporte la antena, ya que es una necesidad para una instalación de estación permanente. Un monumento típico tiene una base a nivel rocoso es decir anclado a profundidad y elevado de la superficie mas de 1.50m, un monumento para antena que pueda ser precisamente situado en una posición conveniente para un rendimiento optimo. Los presupuestos de una obra reales para el monumento dependerán de la aplicación y características del sitio escogido. Estabilidad, costos, y acceso son las consideraciones a seguir.

Monumentos para una aplicación de calidad geodésica deben contar con las más estrictas normas de calidad. Según algunas normas de monumentación de la SCIGN y UNAVCO se debe hacer un estudio de suelo en el área de interés donde se piensa colocar el monumento, en el caso de ser un manto rocoso fijo se necesita un anclaje de monumento poco profundo, pero en casos de suelos blandos se tiene que anclar el monumento hasta tocar manto rocoso, esto se debe a que no se pueden tener movimientos significativos o deslizamiento del monumento. Si el lecho de roca está disponible, uno debe evaluar su calidad la SCIGN y UNAVCO tiene sus especificaciones para la monumentación a nivel de piso (ver anexo 4).

Infraestructura Requerida

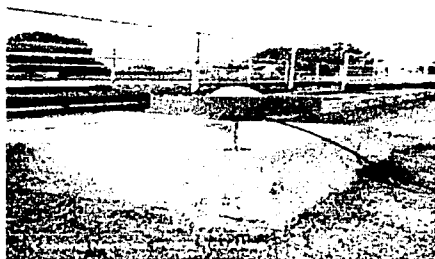
Por lo regular existen varios tipos de monumentos para estaciones geodesicas, dependiendo de su ubicación o las necesidades del usuario a continuación se mostraran algunos tipos de monumentacion.



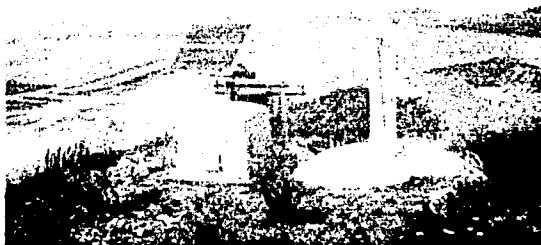
La antena GPS de la ilustración anterior esta montada sobre una estructura de acero con un ángulo de 90° anclada a las paredes mediante pernos y tuercas, en la azotea de un edificio el monumento es simple y de bajo costo.



La antena de la ilustración anterior esta sostenida por una estructura de hierro hueco que esta anclada a una base de concreto dispuesta sobre la azotea de este edificio lo hace mas rígido este es un monumento mas elaborado y por lo tanto mas fiable para observaciones.



Este es tal vez el monumento mas sencillo y económico esta empotrado a una base existente de concreto mediante una ranuración, esta sostenido mediante un tubo de acero especialmente torneado para ajustarse a la antena.



Tal vez este sea el monumento mas costoso por que tiene paneles solares que generan la energía de alimentación pero el objetivo es el monumento que consta de una base de concreto anclada al piso y esta a su vez tiene anclada una estructura cilíndrica de concreto que sostiene la antena.

En conclusión hay demasiadas formas de monumentar una estación lo mas conveniente para nuestro caso es anclar una base de concreto en el edificio B de la FI que a su vez ancle una estructura de hierro o concreto con una elevación de 2m que sostenga nuestro receptor como hemos visto en casos anteriores.

IV.3.2 Suministro eléctrico.

Todos los sitios que cuentan con una estación de referencia permanente requieren un suministro de fuerza confiable para registro de datos continuo y las descargas periódicas. La alternativa más simple es instalar el receptor y equipo subordinado cerca de una salida de corriente. Si un cable debe ser usado, por razones de seguridad debe siempre de estar oculto o protegido. La fiabilidad del suministro de fuerza se debe evaluar. Condiciones de variación de voltaje son especialmente aprensivas en países en vías de desarrollado. Si un sitio de sistema de posición global (GPS) es localizado en un área remota, una fuente independiente del poder se puede exigir. un sistema (de potencia solar) fotovoltaico con un soporte de batería es normalmente requerido asegurar un suministro de fuerza estable. Las consideraciones de diseño son particularmente importantes y el tamaño del sistema debe ser equilibrado contra los costos usando más paneles para la autonomía. Eficiencia de panel solar es dependiente de la temporada, latitud, y clima local. Es importante recordar que las necesidades de energía crecen para equipo adicional y por lo tanto, hay que prevenir al diseñar el sistema. Como un ejemplo de ello puede ser, inicialmente, las descargas que se harán a un disco local (en el sitio) con anuario o las visitas anuales para recobrar los datos. Desde un principio el sitio es una estación sola sin la necesidad del hardware de comunicación. Sin embargo, esto puede ser cambiado mas tarde, se puede incluir un modem para transferir los datos diariamente para uso en tiempo real. El uso de un modem y posiblemente un teléfono celular pondrán una carga adicional significativa en el sistema que entonces puede volverse demasiado conflictiva sin una actualización.

La decisión de usar corriente local para suministrar el sitio no puede garantizarse durante las 24 hrs. Seria necesario planear la instalación de paneles solares o baterías alternativas. No existe ningún reglamento para que un cable se extienda a la fuente de energía mas cercana, un cable para transporte de fuerza de medida más alta será requerido para las longitudes excediendo unos cuantos metros para impedir caída de tensión significativa sobre la distancia. La decisión final es normalmente una y esta implica costos.

La facultad de ingeniería en este punto puede garantizar el suministro de energía y los costos de alimentación y cableado serian bajos pues la longitud de los cables no excederían los 35m.

IV.3.3 Comunicaciones.

En este caso veremos algunos de los sistemas de comunicación que podrían requerirse o ser implementados con el tiempo a nuestra estación de referencia.

Además suponiendo que hemos conseguido que la energía este disponible las 24 hrs. la ventaja significativa del sitio donde se pretende establecer la estación es que esta cerca de la cúpula donde se pondrá una PC para descargar datos en una base regular que provea una vía para controlar el movimiento evaluar y estacionar una base "en tiempo real". En equipo de comunicaciones remoto entra una variedad ancha de configuraciones de hardware en dependencia de la aplicación.

En primer lugar, ya que determinamos la ubicación deseada del sitio de descarga de datos. Es decir que la computadora y el receptor estén relativamente cerca, la primera tendría la función de recabar y archivar los datos, su ubicación debe de ser factible, para un enlace de comunicación entre el receptor y computadora para un manejo mas eficaz de datos, ¿Si servicio de teléfono local está cercano y disponible, puede la línea ser compartida por otros usuarios, de modo que una línea dedicada a suministrar información a otros usuarios pueda convertirse en un requisito?

La nueva tecnología inalámbrica ofrece mas los radio modem proveen un rendimiento de datos efectivo (2.4-19.2kbps) usan un modo de transportador independiente de la transmisión sobre las distancias de hasta 100km. Para sitios remotos, esto puede ser la única alternativa para asegurar descargas de datos regulares. Los radio modem requieren una antena externa para la transmisión y, por lo tanto, es necesaria una visibilidad entre los sitios de receptor y descarga. Para sitios verdaderamente remotos, la consideración debe ser colocar muy en alto las antenas. Finalmente, es común usar comunicaciones de teléfono celulares para sitios localizados dentro de cobertura celular. La desventaja principal de tal

modalidad de comunicación es los costos y la proporción de rendimiento relativamente baja debido a su diseño análogo. Es normalmente posible lograr las proporciones de datos más allá de 4800 kbs Después de que analizamos cobertura celular puede resultar que algunos proveedores, tengan la mejor intención y la mayor parte de la conexión celular confiable.

Una vez que una ubicación se ha escogido para la computadora se pone en práctica un mecanismo de recuperación de datos para distribución, post-proceso, y archivo. La disponibilidad de una conexión de Internet facilita el proceso permitiendo datos regulares transborda a centros de proceso regionales. Sin embargo, si el acceso de Internet no es posible, usted debe considerar retroceder ascendente los datos a unos medios desmontables locales. Los planes se deben hacer entonces para tener una persona de contacto local reemplazar el disco en una base regular (en dependencia de la proporción de muestra, esta operación sólo puede ser requerido una o dos veces un año para capacidad grande graba en disco).

Para todas las modalidades de telecomunicación, es importante probar la comunicación vincula. En el caso de comunicaciones de teléfono, el ruido intermitente puede impedir sin retardo descargas de datos exitosas. Para radio y comunicaciones de teléfono celulares, obstrucción físicas o interferencia electromagnética pueden afectar seriamente comunicaciones. En el caso de teléfonos celulares asegurarse de que el sitio es bueno al alcance de acceso celular.

En nuestro caso lo mas lógico y conveniente pensando en reducir costos, seria una conexión a Internet para la descarga y almacenamiento de datos que genere el receptor.

IV.3.4 Seguridad.

La seguridad de sitio es especialmente importante si el equipo electrónico no puede ser situado en un adyacente seguro del edificio. Existen dos niveles de la protección uno debe considerar para una estación permanente: la protección contra los elementos climatológicos y la interferencia de personas objetos o animales. Es imperativo que todo las partes externas en del sistema que forma la estación esté protegidos. La estación debe ser tan discreta como sea posible para evitar llamar la atención. Sin embargo, la comodidad del acceso debe ser equilibrada contra las necesidades impedir actos potenciales de hurto de o de vandalismo. Allí puede estar involucrado un costo adicional si uno cerca el perímetro se tiene que construir para proteger el sitio, u otras precauciones especiales deben ser tomadas como el camuflaje.

La protección contra factores ambientales puede seguir orientaciones establecidas consultando la oficina meteorológica regional en el clima local y condiciones extremas probablemente para experimentarse. El nivel más bajo de la protección debe impedir lluvia a cabo de afectar operaciones diarias. Clasificaciones más altas pueden proveer protección adicional contra los factores tal como lluvia movimiento debido a el viento (en las áreas inclinadas a los eventos de vendaval), el polvo movido por el viento (áreas áridas), heladas (partes superiores de montaña, climas de frío), etc. El nivel más alto de la protección contra condiciones ambientales es proveído por un NEMA-4 boxee. El NEMA es una caja de aleación que protege a la antena de la condiciones imperantes del clima, esta coraza es distribuida y fabricada por una dependencia de UNAVCO y dan protección también a las componentes internas y externas del sistema dependiendo de las necesidades del usuario. Un ambiente caliente generado por dispositivos electrónicos pueda a veces afectar el equipo por elevación de temperatura, y un ventilador u otro dispositivo refrescante pueda ser necesario.

IV.3.5 Ligo de la estación de referencia.

En nuestro país es necesario el ligarse a la red geodesica nacional, como norma fundamental, para levantamientos, topográficos y geodésicos de precisión, así como también para el establecimiento de una estación de referencia, la Red Geodésica Nacional Activa. A fin de homogeneizar los trabajos geodésicos y reducir tiempos y costos de los proyectos llevados a cabo con metodología G.P.S. establece que el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática opere y controle una red de estaciones de monitoreo continuo de datos G.P.S., denominada Red Geodésica Nacional Activa. El servicio de la Red

Geodésica Nacional Activa consiste en el rastreo permanente de estas 14 estaciones y tienen como finalidad el servir como referencia para el establecimiento de otras estaciones o subredes mediante la diferenciación de las observaciones del usuario con respecto a una o más estaciones.

Dependiendo de la precisión que se requiera o el tipo de trabajo existen condiciones que establece INEGI para ligarse a la red (ver anexo 3).

IV.4 EQUIPO Y PERSONAL REQUERIDO

Después de haber conocido los requerimientos básicos para el establecimiento de nuestra estación de referencia es necesario dar a conocer el equipo y el personal que se requiere para dar marcha a este proyecto. Cabe destacar que no se mencionara el equipo GPS que se utilizara como estación pues este ya fue previamente mencionado en el capítulo anterior.

IV.4.1 Hardware.

Es necesario para el funcionamiento de la estación de referencia permanente contar con dos equipos de computo tipo PC para la descarga control y manipulación de datos así como una gran capacidad para almacenar información, una PC seria para controlar la estación de referencia y almacenaje de datos la otra seria para la manipulación y post proceso de información, la cual se va obteniendo conforme a las lecturas recabadas por el receptor. No son necesarias grandes computadoras pero si deben de cumplir con algunas especificaciones para un optimo funcionamiento las cuales se dan a continuación.

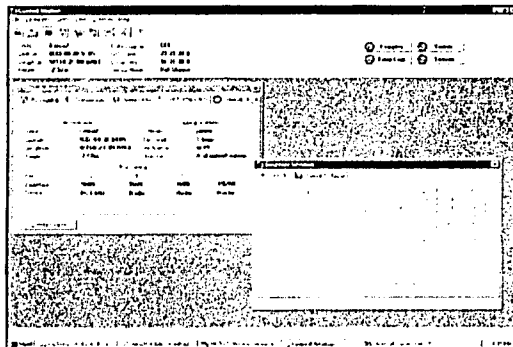
- procesador P4 1.6 GHz
- velocidad de bus de sistema 400 MHz
- disco duro 40 GB
- memoria ram 256 MB DDR
- velocidad de memoria PC2100
- cd rw 16 x 8 x 40
- drive para diskette 3.5", 1.44 MB
- modem V.90 56K flex
- red Tarjeta 10/100 Ethernet integrada en el sistema
- memoria de video, descripción 32 MB
- ranuras disponibles de expansión 1 PCI
- una unidad zip

Para el uso que se dará a la PC es necesario contar con gran capacidad de memoria y también con recursos para poder almacenar esta en CD o unidades ZIP.

IV.4.2 Software.

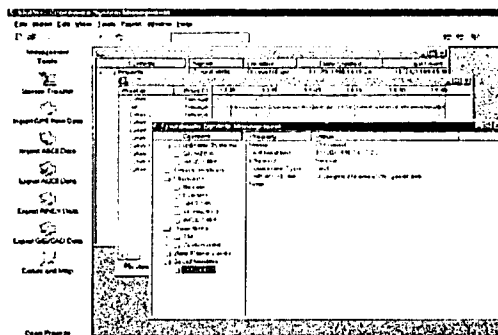
Para establecer nuestra estación de referencia es necesario contar con un programa que manipule y almacene los datos recabados por el equipo GPS, para esto es necesario adquirir el software, nosotros contamos con una estación GPS SR399 de Leica la cual requiere el correspondiente software para manejarla como estación este software es el Multi station también de leica.

El software multistation habilita al usuario para controlar y registrar datos de cualquier GPS leica usando una PC, también usando la opción en tiempo real permite la salida de datos en tiempo real por un modem de radio, Multistation tiene todas las características y funciones requeridas para apoyar a numerosos usuarios de sistema de posición global (GPS) en un área: control de sensor pre-programado, el registro de datos continuo o pre-escoger, la grabación automática en archivos de tiempo marcado, etc.



Programa Multistation (cortesía Leica Geosystems).

También existe el software SKI para el post-proceso y la combinación de resultados, una de las restricciones para los levantamientos GPS en tiempo real es el radio modem, si la estación esta ubicada en un terreno alto y abierto sin obstrucciones, es posible siempre medir los puntos en tiempo real, sin embargo en ciertas áreas, edificios, bosques, etc. Se pueden bloquear conexión de datos causando errores pero la ventaja es que se pueden post-procesar los datos crudos y así obtener las coordenadas buscadas.



Programa SKI-PRO (Cortesía Leica Geosystems).

IV.4.3 Personal.

El personal requerido para el uso y mantenimiento del sistema que integra a la estación se integraría de un equipo de dos personas, una de las cuales se encargara de monitorear, procesar, manipular y verificar el correcto funcionamiento del equipo GPS así como la verificación de una correcta descarga de datos geodésicos, la otra persona se encargara de dar soporte y mantenimiento a dicho equipo cuando este presente fallas, en lo relacionado al soporte del sistema computacional, que se ocupara para dicho fin.

Infraestructura Requerida

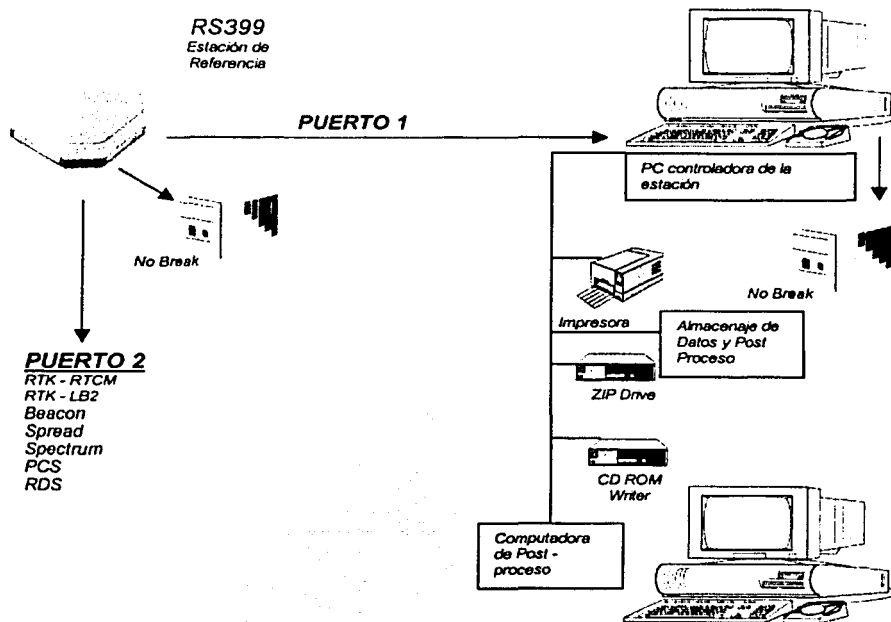
El perfil de dicho personal por las características académicas del proyecto citado deben de cumplir con cierto perfil, para la primera tarea sería necesario que el que este a cargo del proceso, manipulación de datos y verificación del equipo GPS, tenga los fundamentos y conocimientos de topografía y geodesia, por lo cual es recomendable que sea un Ing. Topógrafo y Geodesta, el cual tendría los conocimientos necesarios para manipular dicha información y tomar decisiones en circunstancias adversas, respecto al funcionamiento de la estación así como su mas optimo aprovechamiento.

En segundo lugar el encargado de dar soporte al personal debe de conocer muy bien el equipo de computo con el que se trabaja, así como conocimientos de redes y los principios básicos de la electrónica del GPS, por si se presenta una situación, alguna falla en lo que conforma al sistema de la estación de referencia, por eso se puede plantear que el perfil de esta persona sea un Ing. Electrónico o en Computación.

Sería entonces necesario tener en cuenta la creación de nuevas plazas en la facultad, por si en un mediano a largo plazo de tiempo el proyecto planteado se materialice y sea una realidad.

IV.4.4 Diagrama de conexión de la estación y la PC.

Hasta ahora se ha mencionado la infraestructura necesaria pero a grandes rasgos podemos ver como se conectara la estación al equipo pedido de computo así como también podemos observar como se incluiría en la conexión un equipo radio MODEM o RTK que es opcional y se puede adquirir, el siguiente diagrama nos muestra la conexión.



CAPITULO V
OPERACIÓN DE LA ESTACION DE REFERENCIA

OPERACIÓN DE LA ESTACION DE REFERENCIA

Conocido el sistema y cómo trabaja, es necesario saber cómo debe trabajar el usuario en función a sus necesidades de precisión en la determinación de las coordenadas de los puntos. Lo primero es escoger el tipo de receptor y el método de observación que nos pueden brindar los receptores, claro este problema esta resuelto temporalmente para nosotros pues ya contamos con un par de receptores GPS los cuales fueron mencionados con anterioridad, para empezar a trabajar es necesario realizar el anteproyecto de la observación GPS. Existen varios tipos de condicionantes como la geometría y número de satélites, el estado de la ionosfera, obstáculos en los lugares de observación, longitud de las líneas base, etc.

La Facultad cuenta con un receptor GPS SR 399 de doble frecuencia y otro receptor GPS SR 9400 de una frecuencia, es de suponer que el primero será seleccionado para ser la estación de referencia fija por las característica de ser un receptor de doble frecuencia y el segundo como receptor remoto, ya teniendo esta consideración en cuenta, procedemos a ver como funcionan estos dos receptores, los cuales cuentan con las mismas funciones que en este tema conoceremos.

Cabe aclarar que el receptor escogido para ser establecido, como estación de referencia siempre va estar trabajando de modo estático, Como se comenta a continuación tomando como ejemplo las estaciones de referencia de INEGI.

Características de Operación de las estaciones fijas

- Cada una de las 14 estaciones fijas esta equipada con un receptor AHSTECH modelo PXII.
- Los receptores captan información durante 23 horas al día, ya que de las 21:00 a las 22:00 hrs. (21:00 a 22:00 hora del meridiano 90° WG durante el horario de invierno; y de 21:00 a 22:00 hora del meridiano 75° WG en el horario de verano) se realiza el trabajo de descarga de los datos del receptor y de se da mantenimiento preventivo al equipo.
- Las estaciones fijas trabajan con un intervalo de registro de datos de 15 segundos, por lo que se recomienda al usuario trabajar con este mismo valor o con múltiplos de él.
- El ángulo de elevación sobre el horizonte, sobre el cual se capta información en las estaciones fijas, es de 15 grados.
- La información que se capta en las estaciones contiene las dos frecuencias disponibles en el sistema, así como el código C/A. No se registra el código P debido a la definitiva encriptación de este por parte del Departamento de la Defensa de los Estados Unidos de América.
- La información se capta en el formato propio del GPS, y puede ser transformado al formato RINEX.

Lineamientos para la utilización del servicio de las estaciones fijas

- Puede utilizarse la marca de equipo GPS que más convenga al usuario y utilizar el *software* correspondiente para el cálculo de la información, con la única condición de que éste tenga la opción de importar archivos RINEX a su propio formato.
- Los tiempos de observación serán establecidos por el usuario considerando su programa de trabajo y el horario de descarga de la información en las estaciones fijas.
- Para el procesamiento de los trabajos se podrán utilizar datos de una o más estaciones fijas. Si se decide usar solo una, se recomienda hacerlo con la más cercana.
- Si los usuarios tienen más de un receptor en el levantamiento, se debe realizar la medición utilizándolos simultáneamente.
- Si sólo se cuenta con un receptor, se recomienda utilizar datos de por lo menos dos estaciones fijas, lo cual permitirá realizar adecuadamente el ajuste de la información.

Operación de la Estación de Referencia

- Los procesos de liga a las estaciones fijas deberán llevarse a cabo con datos obtenidos con equipos de doble frecuencia.
- Cuando se cuente con equipos de una sola frecuencia, sólo se podrán realizar procesos si el área de trabajo se encuentra a menos de 40 km de alguna estación fija.
- Los datos de observación que se soliciten de la estación fija deben coincidir en día y hora con los del receptor utilizado y se procesaran combinadamente.

V.1 MÉTODOS DE POSICIONAMIENTO.

Podemos diferenciar dos modos de posicionamiento, y dentro de ellos las variantes que se pueden considerar. Fundamentalmente son el absoluto y el relativo. Este último también recibe la denominación de diferencial, aunque creo que es más propia esta denominación para un tipo de posicionamiento en el que también se trabaja con dos receptores, uno hace de receptor base y el otro de receptor móvil, sin embargo, no se toman las observaciones realizadas con el receptor base, si no que el receptor base tiene una coordenadas conocidas, calcula su posición en función de las observaciones, como la posición calculada no coincidirá con la verdadera, el receptor base calculará unas correcciones a las pseudodistancias a cada satélite que retransmitirá al receptor móvil, el cual deberá disponer de un receptor de correcciones.

V.1.1 Posicionamiento Absoluto.

El posicionamiento absoluto carece de interés en topografía salvo en el caso de realizar el "single point" ya mencionado. Se realiza con un único receptor, y consiste en la solución de una intersección directa de todas las distancias receptor-satélite sobre el lugar de estación en un período de observación dado. Para resolver un posicionamiento absoluto es necesario recibir la información de al menos cuatro satélites, ya que cada uno de ellos proporciona una ecuación al sistema y nuestras incógnitas son cuatro (X, Y, Z y estado del reloj del receptor). El posicionamiento absoluto tiene la ventaja de que con un sólo instrumento de observación podemos obtener nuestra posición, pero posee una serie de inconvenientes que repercuten seriamente en la precisión del posicionamiento, y por ello no hace del método una aplicación apropiada en trabajos de precisión.

V.1.2 Posicionamiento Relativo.

El posicionamiento relativo consiste en hallar la posición de un punto mediante las observaciones realizadas desde ese punto a unos determinados satélites, sumadas a las realizadas en ese mismo instante desde otro punto (referencia) de coordenadas conocidas a esos mismos satélites. Por lo tanto, aquí aparece el concepto de *línea base*, que es la línea recta que une el punto de referencia y el punto objetivo. Esta línea base, no es medida de forma directa, ya que nuestras observaciones son sobre los satélites y no entre los puntos. Por lo tanto, la obtención de la línea base se produce de forma indirecta.

Dependiendo de las observables, instrumental de observación y software de cálculo utilizados, podemos citar las siguientes técnicas o métodos de posicionamiento diferencial:

Estático. Este modo de posicionamiento consiste en el estacionamiento de receptores que no varían su posición durante la etapa de observación. La referencia puede establecerse en cualquiera de ellos y la precisión será función del tiempo de observación, de la geometría y del instrumental utilizado. El método estático es el que mayor precisión proporciona, pero también es el que más tiempo de observación requiere.

Este método está especialmente indicado para:

- Confeción de redes fundamentales en las cuales se vayan a apoyar trabajos de Cartografía, Fotogrametría o proyectos de ingeniería.
- Obtención de puntos de apoyo fotogramétrico y control de puntos existentes.
- Control de deformaciones en superficies y estructuras.

Operación de la Estación de Referencia

- Proyectos de investigación sobre el comportamiento y estructura de la atmósfera terrestre, como afecta a las señales, estudio de precisiones, etc.

No obstante, este método tiene la ventaja de que siempre se puede recurrir a él en caso de problemas con la aplicación de otro, ya que es válido para cualquier aplicación. No hay que olvidar que es el método fundamental y en el que se apoyan el resto de métodos de posicionamiento

Una variante del método estático es el denominado *estático rápido*, el cual se puso en funcionamiento gracias a la inclusión de algoritmos de tratamiento de las señales y espacios de búsqueda de ambigüedades más sólidos y rápidos. De este modo, el tiempo de observación y de cálculo se reducen considerablemente.

Reocupación. El método de posicionamiento es el estático, pero puede ocurrir que las condiciones de observación no sean idóneas, bien porque la geometría es muy mala ($\text{GDOP} > 8$) o bien porque disponemos de menos de cuatro satélites por apantallamientos u obstrucciones. Para poder dar solución al problema, volvemos a repetir la puesta al cabo de un cierto período (que puede ser previsto con los programas de planificación de observaciones a través de almanques radiodifundidos), con el fin de obtener información de satélites distintos a los de la primera puesta. Para resolver el problema, el software mezcla los datos de las dos puestas para formar un único sistema de resolución como si todo se hubiera realizado una sola vez. Por lo tanto, el estacionamiento es estático, y la reocupación una forma de solucionar problemas que surgen debido a la falta de información necesaria en posicionamientos estáticos. Las aplicaciones y fundamentos en precisiones y tratamientos de observables son los mismos que los indicados en el método estático, aunque la precisión sí que se puede ver mermada en ocasiones.

Cinemático. Este método constituye una solución eficaz al inconveniente de los posicionamientos estáticos que requieran períodos de observación prolongados. El fundamento es establecer una estación fija de referencia, estática, y otra estación móvil que va a realizar las puestas en los puntos que se consideren necesarios. Para desarrollar este método es necesaria una iniciación, que supone calcular todos los parámetros de la línea base que une el móvil y la referencia en un instante. Una vez hecho esto, se conservan los valores de las ambigüedades, lo que hace que el número de incógnitas se reduzca a la X, Y, Z del móvil, lo que requiere menos épocas de información para resolver el sistema y por lo tanto menor período de puesta. Este método presenta la gran ventaja de que con él se obtienen resultados fiables y con buena precisión en poco tiempo, pero presenta el inconveniente de la posible pérdida de señal. Si esto se produce en un instante, las ambigüedades establecidas en la primera inicialización ya no sirven, lo que requiere un nuevo proceso de inicialización en el lugar donde se produjo la pérdida de señal.

Existen varios modos de iniciación:

Estático rápido. Se realiza una puesta estática de varias épocas hasta que se haya determinado la posición del móvil de forma satisfactoria. Es el modo más lento de iniciación, y es función del tipo de instrumental utilizado, información recibida y potencia del algoritmo de cálculo. Puede variar de uno a algunos minutos.

Estática en punto conocido. El método es análogo al anterior, pero más rápido, ya que al conocer tres de las incógnitas del sistema (X, Y, Z del móvil) las que quedan por determinar son únicamente los incrementos de los valores de ambigüedad. Por lo tanto, necesitamos menos ecuaciones y en consecuencia menor tiempo de observación para resolver el sistema. Puede variar entre uno y dos minutos en función del tiempo en que se establezcan las épocas de grabación y la potencia del software de cálculo.

En movimiento (OTF, On-The-Fly). Esta técnica desarrolla un algoritmo que aplica las observaciones recibidas en movimiento y resuelve el sistema sin tener que realizar puestas estáticas. Es muy cómoda, ya que estamos iniciando mientras nos dirigimos al punto objeto de posicionamiento. La iniciación en modo OTF fue creada para aplicar técnicas de resolución cinemática a elementos que no pueden estar parados

para efectuar iniciaciones estáticas, como son barcos y aviones, y facilitar las aplicaciones que les conciernen, como levantamientos batimétricos y vuelos fotogramétricos. En el caso del avión, el objeto es conocer las coordenadas de la cámara en el momento de las tomas, y en el caso del barco tener la información planimétrica puntual que completa las tres dimensiones con la medida directa de la ecosonda. Es evidente que si se produce una pérdida de señal, la inicialización se vuelve a realizar sin tener que detener los vehículos, un poco difícil en los dos casos mencionados. Pero la iniciación OTF no solamente se aplica en estos campos, sino que actualmente los equipos de observación terrestres incorporan esta posibilidad para cualquier tipo de trabajo, por su seguridad, rapidez y comodidad. Si las condiciones son favorables, la inicialización se puede realizar en menos de un minuto.

Dentro del modo cinemático, se puede trabajar con el modo *continuo* (denominado cinemático propiamente dicho) o en modo *discontinuo* (stop & go) o también llamado semicinemático.

Stop & Go. Para posicionar un punto con el receptor móvil (tras la inicialización satisfactoria) se realiza una parada en dicho punto de unas pocas épocas, después nos dirigimos al siguiente punto y actuamos de igual modo. El procedimiento se mantendrá hasta completar el trabajo o hasta sufrir una pérdida de señal que obligue a iniciar otra vez. Este método es apropiado para el levantamiento de puntos cercanos entre sí. Es imprescindible mantener la verticalidad de la antena en todo momento. La precisión del método siempre es función del tipo de instrumentación utilizado. Puede llegar a ser de uno a cinco centímetros en el mejor de los casos. Las aplicaciones más comunes son:

- Levantamientos taquimétricos en general.
- Determinación de superficies y parcelaciones.
- Control y evolución de fenómenos y obras.
- Densificación de información de una zona.
- Obtención de perfiles transversales.

Continuo. También denominado cinemático propiamente dicho. En este caso, el receptor móvil no efectúa ninguna parada, normalmente porque no le es posible. Está indicado para el uso de estaciones móviles ubicadas en vehículos en movimiento, como aviones, trenes, camiones, barcos, turismos, etc. Para su aplicación, basta con indicar el tiempo transcurrido entre una grabación y otra (épocas de grabación) para posicionar las situaciones puntuales del receptor en movimiento continuo. Por ejemplo, si hemos establecido una época como cinco segundos, y queremos que el posicionamiento se produzca cada treinta segundos, deberán transcurrir seis épocas de observación para efectuar el posicionamiento. El intervalo de grabación (épocas) para el método cinemático es aconsejable que sea menor o igual a cinco segundos.

Este método presenta el mismo inconveniente que el anterior, que es la posible pérdida de señal. Si esto se produce, y se dispone del modo OTF, el vehículo no necesita detener su marcha. Las aplicaciones más comunes de este método son:

- Determinación de la trayectoria de vehículos en movimiento.
- Levantamientos batimétricos.
- Navegación.
- Determinación de itinerarios (carreteras, caminos, canales, rutas, líneas de enlace de redes, cauces fluviales, etc.).

Aunque las precisiones que se pueden obtener en cada método dependen de muchos factores (número de satélites, geometría de los mismos, longitud de la línea base, estado de la ionosfera, efecto multicamino, tipo de receptor, etc.) como posible indicación podría servir que para posicionamientos estáticos se consiguen precisiones planimétricas de 5 mm. ó 1cm. ± 1 ó 2ppm, mientras que en los cinemáticos se pueden conseguir precisiones de 1 ó 2 cm. ± 1 ó 2 ppm.

Replanteo. Hasta ahora hemos comentado respecto al sistema GPS la posibilidad de realizar sólo levantamientos topográficos, sin embargo, también es posible realizar replanteos, es decir, llevar al terreno puntos de un plano. Para ello, es necesario poder disponer de coordenadas en tiempo real en el sistema de referencia adoptado previamente. La estación de referencia envía a través de radio módem

Operación de la Estación de Referencia

sus observaciones a los receptores móviles de la zona que combinan y procesan dichos datos con los suyos propios. El alcance depende del radio módem y de la distancia hasta la cual se pueden resolver ambigüedades, siendo la longitud de las líneas base inferior a 10 Km. normalmente.

V.2 ERRORES.

Al igual que cualquier observación de topografía clásica, una observación GPS está sometida a varias fuentes de error, y por lo tanto, la precisión de las mediciones efectuadas con GPS sólo puede estimarse de forma aproximada. Por supuesto, la precisión depende de la modalidad de la medida, no es lo mismo un posicionamiento absoluto que uno relativo, ni un cinemático que uno estático. La idea principal que veremos en este apartado es que diversos errores afectan a la medida de la distancia y por consiguiente se propagan al cálculo de la posición del receptor.

Estos errores pueden ser clasificados en tres grupos:

- **Errores relativos al satélite.** Errores en el oscilador, errores o variaciones en los parámetros orbitales, geometría de la constelación, precisión de los datos recibidos.
- **Errores relativos a la propagación de la señal.** Refracción ionosférica, refracción troposférica, Disponibilidad Selectiva, pérdidas de ciclos, ondas reflejadas (multicamino), efectos relativistas.
- **Errores relativos al receptor.** Error en las coordenadas del punto de referencia, errores en el oscilador, error en el estacionamiento, error en la manipulación del equipo, variación y desfase del centro de la antena, ruido interno del receptor.

Algunos de estos errores sistemáticos pueden ser modelados e incluso eliminados utilizando combinaciones apropiadas de los observables a partir de una o dos frecuencias, o trabajando en modo relativo.

En la medida de la calidad y bondad de una observación van a influir o contribuir dos términos: el UERE y el DOP (Dilution of Precision). El UERE (User Equivalent Range Error) es el error cometido en la medida de la pseudodistancia por el usuario debido a varias fuentes de error de manera que dichas fuentes sean independientes las unas de las otras.

El DOP o Dilución de la Precisión es la contribución puramente geométrica al error en el posicionamiento de un punto. Es un valor adimensional que da una idea de la solidez de la figura formada por el receptor y los satélites que tiene a la vista.

Siguiendo el ejemplo de la topografía clásica, el DOP representaría la precisión debida a la geometría de los puntos a medir. En el caso de realizar una triangulación, el DOP óptimo correspondería a un triángulo equilátero, es decir, los ángulos medidos valdrían 60°. En el caso de trisección inversa, el DOP óptimo sería aquella en que las visuales formaran una "y", es decir, formasen ángulos de 120°.

El valor DOP puede ser interpretado geoméricamente como el volumen del cuerpo formado por los satélites y el receptor. Cuanto mayor sea el volumen de este cuerpo mejor será la geometría, y por lo tanto menor será el valor DOP, siendo el valor ideal la unidad.

Como ya se vio anteriormente, el valor del DOP es el factor por el que debe ser multiplicado el error obtenido en las pseudodistancias para obtener el error final en el posicionamiento. Los valores de DOP más utilizados son los siguientes:

- **GDOP:** Dilución de precisión en posición y estado del reloj.
- **PDOP:** Dilución de precisión en posición.
- **TDOP:** Dilución de precisión en el estado del reloj.
- **HDOP:** Dilución de precisión en planimetría.
- **VDOP:** Dilución de precisión en altimetría.

V.2.1 Errores relativos al satélite.

Error del reloj del satélite: Este error es el desfase que tiene el reloj del satélite respecto al Tiempo GPS. Los satélites llevan relojes atómicos con osciladores de cesio o de rubidio, sin embargo ningún reloj, incluso el atómico es perfecto.

Errores en los parámetros orbitales: Para calcular su posición, el receptor debe conocer las posiciones de los satélites. Las estaciones de seguimiento registran datos de pseudodistancia y medidas de fase que mandan a la Estación de Control principal, donde con un sofisticado software se predicen las futuras posiciones orbitales de los satélites, es decir sus efemérides. Éstas son transmitidas en el mensaje de navegación del satélite. Pero las efemérides transmitidas por los satélites tendrán asociado un error a causa de que es imposible predecir exactamente sus posiciones.

V.2.2 Errores relativos a la propagación de la señal.

La velocidad de propagación de la señal es crítica para cualquier sistema de medida de distancias. Esta velocidad multiplicada por el intervalo de tiempo en que se propagó la señal nos da una medida de la distancia. Si una onda electromagnética se propaga por el vacío, su velocidad de propagación, sea cual sea su frecuencia es la velocidad de la luz (c). Sin embargo, en el caso de observaciones GPS, las señales deben atravesar las capas de la atmósfera hasta llegar al receptor posicionado sobre la superficie de la tierra. Las señales interaccionan con partículas cargadas, que provocan un cambio en la velocidad y dirección de propagación, es decir, las señales son refractadas. Cuando la señal viaja por un medio que no es el vacío, ésta sufre un retardo debido a que la velocidad de propagación es menor, y a que la trayectoria aumenta su longitud al curvarse por refracción, si el medio no es isótropo.

Refracción ionosférica: La Ionosfera es aquella región de la atmósfera comprendida entre 100 y 1000 Km. de altitud, donde las radiaciones solares y otras radiaciones ionizan una porción de las moléculas gaseosas liberando electrones, que interfieren en la propagación de ondas de radio.

Refracción troposférica: La Troposfera es la última zona o capa de la atmósfera (hasta unos 80 Km., pero sólo en los últimos 40 se producen retardos significativos), donde se produce retardo y donde las temperaturas decrecen con el incremento de altura. El espesor de la Troposfera no es el mismo en todas las zonas. La presencia de átomos y moléculas neutros en la Troposfera afecta a las señales de propagación electromagnética.

Disponibilidad Selectiva: La Disponibilidad Selectiva supone una alteración o manipulación de la información que los satélites de la constelación GPS envían a los usuarios en su mensaje de navegación sobre los estados de los relojes y parámetros orbitales, manipulación que realiza el Departamento de Defensa de los Estados Unidos (DoD). Trabajando con posicionamiento relativo o diferencial se puede eliminar este error.

Pérdidas de ciclos: Las pérdidas de ciclos suponen un salto en el registro de las medidas de fase, producido por alguna interrupción o pérdida de la señal enviada por el satélite. Estas pérdidas de ciclos pueden ser causadas por la obstrucción de la señal del satélite debido a la presencia de árboles, edificios, puentes, montañas, etc.

Efecto Multicamino: El efecto multipath o multicamino es causado principalmente por múltiples reflexiones de la señal emitida por el satélite en superficies cercanas al receptor.

Para mayor detalle de los errores relativos al satélite y a la propagación de la señal ver (anexo 2).

V.2.3 Errores relativos al receptor.

Error del reloj: Cuando un receptor recibe una señal de un satélite, en ese momento su reloj interno tendrá un desfase o error con respecto a la Escala de Tiempo. Este error afectará a todas las medidas de pseudodistancias realizadas para cada época. Los errores en los osciladores de los receptores los podemos eliminar trabajando con posicionamiento relativo por medidas de fase, planteando las ecuaciones de dobles diferencias.

Error en el estacionamiento de la antena: Los errores en el estacionamiento de la antena tienen menos influencia y las exigencias de estacionamiento son muy inferiores a las de los instrumentos de observación clásica. No necesitan una altísima estabilidad, ya que pequeños desplazamientos, vibraciones o torsiones en nada afectan a la observación de las señales de los satélites.

Variación del centro radioeléctrico de la antena: La variación y desfase del centro de la antena se debe a la falta de coincidencia entre el centro radioeléctrico o punto que realmente se posiciona, ya que es el punto al que llega la señal; y el centro mecánico o físico, generando un error residual por excentricidad que puede ser de unos milímetros. Para evitar este error en posicionamiento relativo se recomienda una orientación aproximada común para todas las antenas, ya que el fabricante monta en el interior de todas las carcasas el elemento físico receptor en la misma posición respecto a alguna referencia exterior del conjunto, y trabajando en modo relativo este error se eliminará en ambas estaciones.

V.3 ESTRUCTURA DE LOS ARCHIVOS.

Teóricamente podemos hacer la suposición siguiente, una vez que instalamos los dos receptores, uno de ellos en un punto de coordenadas conocidas, y el otro en los puntos que nos interesan, y que ya hemos configurado el receptor de tal manera que definimos el método de observación, el intervalo entre observaciones y la máscara de elevación, la antena comienza a recibir las señales GPS enviando los datos al receptor que los va almacenando. Los datos suelen ser grabados en unidades independientes de memoria o tarjetas PCMCIA, que varían desde los 512 Kbytes a los 4 Mbytes de capacidad o más. También pueden ser almacenados directamente en un PC portátil conectado al receptor.

Es muy importante controlar la capacidad de grabación de datos y el tiempo de observación marcado. Estos son algunos ejemplos de almacenamiento por tiempo de observación aproximados en función del número de satélites y señales recibidas:

	0,5 Mb	1 Mb	2 Mb	4 Mb
6 satélites sobre L1 y L2 con épocas de 2 s.	1 h.	2 h.	4 h.	8 h.
6 satélites sobre L1 y L2 con épocas de 5 s.	2,4 h.	4,8 h.	9,6 h.	19,2 h.
6 satélites sobre L1 y L2 con épocas de 15 s.	7,2 h.	14,4 h.	28,8 h.	57,6 h.

Tras la observación por lo general se obtienen los siguientes datos:

- Mensaje de navegación.
- Efemérides radiodifundidas por los satélites.
- Datos meteorológicos.
- Almanaque de estado de los satélites.
- Archivo de observación.

Estos datos pueden ser volcados en un ordenador para ser tratados con un software de post-proceso, o bien tratados "in situ" por el mismo controlador si éste dispone de un software de proceso y así obtener los resultados en tiempo real.

Operación de la Estación de Referencia

El usuario debe saber que los datos citados anteriormente pueden ser transformados a un formato estándar independiente en modo ASCII para insertarlos y ser tratados por cualquier software de proceso de datos GPS. Este formato es el denominado RINEX, que en la actualidad ya figura como RINEX-2, con la posibilidad de incluir observaciones realizadas a través de la constelación GLONASS.

El formato RINEX está optimizado para utilizar el mínimo espacio posible, independientemente del número de diferentes tipos de observación que realice un receptor específico, indicando en la cabecera el tipo de observaciones que contiene el fichero.

Cada archivo de datos de observación y meteorológicos contienen los datos de una estación durante una sesión. La versión 2 de RINEX permite incluir las observaciones de más de una posición, que son ocupadas por un receptor móvil en aplicaciones cinemáticas.

Los observables GPS incluyen tres cantidades fundamentales que vamos a definir a continuación: tiempo, fase y distancia.

Tiempo: El tiempo de medida es el instante de recepción de las señales en el receptor. Es idéntico para las medidas de código y de fase, y también para cualquier satélite observado en ese momento. Se expresa en tiempo GPS, no en tiempo universal.

Pseudodistancia: La pseudodistancia (PR) es la distancia desde la antena del receptor hasta la antena del satélite, incluyendo los offsets de los relojes de ambos y también otros sesgos, como por ejemplo los retardos atmosféricos. La unidad utilizada para expresarla es el metro.

Fase: Es la fase de la portadora medida en ciclos completos en L1 y L2. La fase cambia de la misma forma que lo hace la distancia (doppler negativo). Las observaciones de fase entre épocas deben estar conectadas mediante la inclusión del número entero de ciclos. Si el receptor o el software ajusta las medidas utilizando los offsets del reloj, del receptor y del satélite recibido, la consistencia de las tres cantidades (fase, pseudodistancia, época) se debe mantener. Esto significa que la corrección del reloj del receptor se debe aplicar a los tres observables:

La convención para nombrar a los Archivos RINEX es `ssssdddff.yyf`, donde:

`ssss`: son cuatro caracteres utilizados para designar el nombre de la estación.

`ddd`: es el día del año de la primera observación.

`f`: número de secuencia del archivo en un día. 0: el archivo contiene todos los datos existentes de ese día.

`yy`: año.

`t`: tipo de archivo.

`O`: archivo de observación.

`N`: archivo de navegación.

`M`: archivo de datos meteorológicos.

V.4 PRUEBAS Y RESULTADOS CON EL GPS SR 399.

La Facultad de Ingeniería cuenta con dos equipos de reciente adquisición uno de ellos es el equipo SR 399, con el cual se realizaron pruebas de campo en Ciudad Universitaria, para rectificar puntos geodésicos ya establecidos en el circuito universitario, en apoyo al proyecto de tesis el cual lleva por título "Cálculo de ajustes por el método de mínimos cuadrados de la red geodesica del campus de C.U. UNAM" desarrollado por la compañera Patricia Gutiérrez, dicho equipo GPS geodésico de doble frecuencia es una opción para ser la estación de referencia de la Facultad, por eso se decidió probarlo en su función de modo estático.

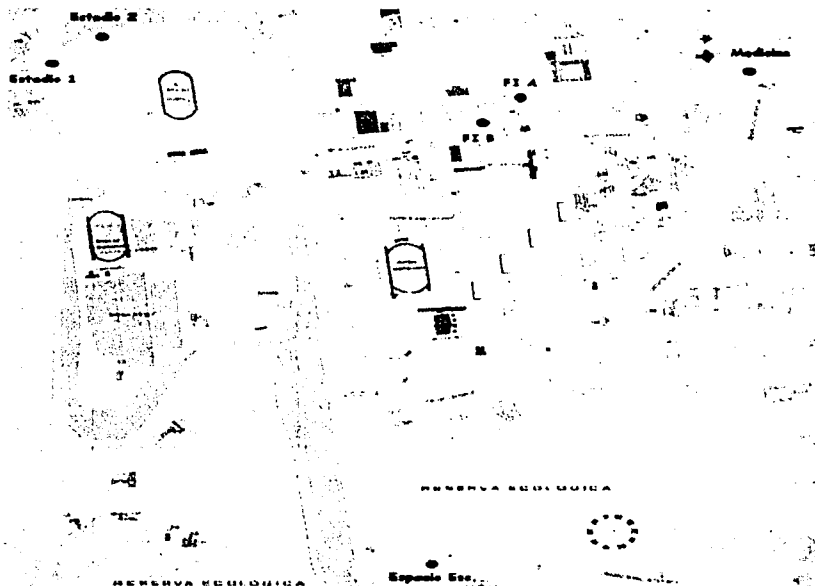
Esta prueba también nos ayudará a comparar coordenadas ya obtenidos de los mismos puntos con diferentes equipos GPS contra las coordenadas determinadas por nuestro equipo y poder estimar si no hay una gran variación en los resultados y nuestro equipo entra en un buen rango de precisión con respecto a equipos mas recientes.

V.4.1 Organización del proyecto de prueba.

El método utilizado para la realización de esta prueba fue el Diferencial estático para este fin se contacto a la compañía Leica para que nos facilitara el uso de su estación de referencia fija, esto fue sabiendo de antemano, que contábamos con su cooperación y su estación esta ligada a la red geodésica nacional y tienen sus coordenadas muy bien definidas, pero también teniendo en cuenta que los datos obtenidos se tienen que procesar en sus oficinas pues también nos facilitarían el software de post-proceso, esto fue gracias a que los fines del proyecto eran meramente académicos, ya teniendo asegurada la cooperación de esta compañía lo único que restaba era poner por primera vez en marcha nuestro receptor como móvil y dar fecha para el proyecto.

V.4.2 Metodología.

Teniendo en cuenta que son 6 los puntos GPS a rectificar y ya están establecidos, y por lo tanto es conocida su ubicación, el plan de trabajo es posicionar los 6 puntos en un solo día con un tiempo de posicionamiento de 15 min. por punto con nuestro receptor en modo estático, lo siguiente era dar fecha a la realización del proyecto para que la compañía Leica tuviera en operación su estación, el proyecto se realizó el 22 de abril del presente año, pero se presentaron problemas y solo se posiciono un punto, puesto que una de las baterías esta dañada y la otra solo contaba con carga para aproximadamente 30 min. pudiéndose posicionar solo un punto el que se encuentra en la azotea del edificio B de la FI, por lo que se aplazo la realización del proyecto hasta el día 3 de mayo posicionando los 5 puntos restantes con el mismo intervalo de tiempo. Los puntos posicionados este día fueron, edificio A de la FI, estadio 1, estadio 2, medicina y espacio escultórico los puntos posicionados se muestran en el siguiente plano.



Plano de localización de los puntos GPS.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Operación de la Estación de Referencia

V.4.3 Resultados.

Como se menciono los resultados del posicionamiento se obtuvieron en las instalaciones de Leica, pues nos facilitaron su estación de referencia de coordenadas ligadas a la RGNA, a demás de que realizamos ahí mismo el post-proceso de los datos crudos obtenidos de los posicionamientos para ser manipulados en el programa SKI-PRO, para obtener las coordenadas de los puntos en los datum WGS 84 y NAD 27, los resultados obtenidos fueron los siguientes.

Datum WGS 84							
Id de Punto	Clase de Punto	Latitud	Longitud	Este	Norte	Alt. Elipsoidal	Alt. Ortométrica
LEICA MX	Control	19°22'47.806835	99°10'40.915395"	481304.9440	2142878.1817	2260.5015	2264.3585
FI-B	Medido	19°19'51.82092"	99°11'06.18543"	480562.1638	2137469.7103	2294.3350	2298.4770
Estadio 1	Medido	19°19'58.47538"	99°11'41.90124"	479520.2816	2137675.3910	2296.0388	2300.1938
Estadio 2	Medido	19°20'01.41360"	99°11'38.46207"	479620.7297	2137765.5895	2291.3353	2295.4883
Espacio Esc.	Medido	19°19'03.10825"	99°11'10.67843"	480429.4565	2135972.5838	2307.2206	2311.3726
FI-A	Medido	19°19'54.94396"	99°11'03.14380"	480651.0143	2137565.6079	2295.8982	2300.0352
Medicina	Medido	19°19'57.99272"	99°10'43.77269"	481216.3164	2137658.7238	2260.2072	2264.3332

Datum NAD 27							
Id de Punto	Clase de Punto	Latitud	Longitud	Este	Norte	Alt. Elipsoidal	Alt. Ortométrica
LEICA MX	Control	19°22'45.414769"	99°10'39.923634"	481333.6344	2142676.6100	2260.5015	2264.3585
FI-B	Medido	19°19'49.41991"	99°11'05.18947"	480562.1638	2137469.7103	2294.3350	2298.2516
Estadio 1	Medido	19°19'56.07477"	99°11'40.90458"	479548.9731	2137473.8229	2296.0388	2299.9482
Estadio 2	Medido	19°19'59.01313"	99°11'37.46546"	479649.4212	2137564.0214	2291.3353	2295.2441
Espacio Esc.	Medido	19°19'00.70476"	99°11'09.68247"	480458.1474	2135771.0171	2307.2206	2311.1540
FI-A	Medido	19°19'52.54311"	99°11'02.14790"	480679.7051	2137364.0399	2295.8982	2299.8140
Medicina	Medido	19°19'55.59198"	99°10'42.77716"	481245.0070	2137457.1554	2260.2072	2264.1246

Las tablas anteriores nos muestran los resultados de los datos ya manipulados por el programa pero también cuando se manipulan los datos se generan reportes del calculo de cada punto a continuación se presenta el reporte generado cuando se calculo el vértice situado en el edificio B de la facultad.

Operación de la Estación de Referencia

PUNTO FACULTAD INGENIERÍA EDIFICIO B

#####

GE_PS CONFIGURACIÓN DEL PROYECTO

#####

Prog. de procesamiento : Leica SKI-Pro V2.1

Proceso kernel : PSI versión 3.20.

Encabezado general : TABAJO DE PRACTICA CURSO GPS SKI PRO

Nombre del proyecto : UNAM

Sist. de coordenadas : WGS84

Hora : Resultados en hora local (GPS -5.00 hr)

#####

GE_PP PARÁMETROS DE PROCESAMIENTO

#####

Ángulo de elevación (grad) : 15

Modelo troposférico : Hopfield

Modelo ionosférico : Automático

Tipo de solución : Fijo sin Ionosfera

Efemérides : Transmitidas

Datos empleados : Automático

Frecuencia : Automático

Límite para resolver ambigüedades (km) : 20

Límite emc : Automático

Intervalo de muestreo (seg) : Usar Todas

Detección de saltos de ciclo : Revisar fase y pérdida de señal

Tiempo mín. para fijar amb.- solo L1 (min) : 9

Usar modelo estocástico : Sí

Distancia mínima (km) : 10

Actividad Ionosférica : Media

#####

GE_SS SELECCIÓN DE SATÉLITE

#####

Sats. desactiv. manualmente : Ninguno

#####

GE_BO INF. GRAL. DE LINEA BASE

#####

Núm. de líneas base calculadas : 1

LB CD Móvil Referencia 1a. época común Amb Frc Obs

id id Mod

1 1 FI LEICA MX 04/20/2002 07:50:00 S 1+5 STS

#####

GE_IC COORDENADAS INICIALES

#####

Referencia:

Id punto : LEICA MX

X -960381.1030 m Y -5944010.5393 m Z 2103820.4154 m

Lat 19 22 47.80684 N Lon 99 10 40.91939 W a 2260.5015 m

Móvil :

Id punto : FI

X -961400.6781 m Y -5945695.4946 m Z 2098724.2568 m

Lat 19 19 51.82092 N Lon 99 11 06.18543 W a 2294.3350 m

Operación de la Estación de Referencia

GE_CI MODELOS IONOSFÉRICOS #

Id punto :LEICA MX
XSIONO V1.11.0.3

ORIGIN OF DEVELOPMENT: TIME (UT) (Y M D H) : 2002 4 19 23.9791667
LATITUDE (DEGREES) : 19.3799
LONGITUDE (DEGREES) : -99.1780
APPLICABILITY FROM EPOCH : 2002 4 19 23.9791667
TO EPOCH : 2002 4 22 15.2625000

COEFFICIENTS:
DEG. LAT DEG. TIME COEFFICIENT RMS
0 0 6.36569564E+000 1.73121169E-002
0 1 -5.35354391E-002 1.45740097E-003
0 2 -1.76082960E-001 8.60961778E-004
1 0 -1.35668696E+000 6.60335488E-003
1 1 3.28125178E-002 1.60190697E-003

CH.1 ===== NUEVA CADENA ESTÁTICA =====

BL.1 FI LEICA MX 04/20/2002 07:50:00 #

BL_SE.1 INICIO/ FIN ÉPOCAS (COMUNES)

04/20/2002 07:50:00 a 04/20/2002 08:10:45

BL_OI.1 INFORMACIÓN OPERACIÓN

	Móvil	Referencia
Id punto	FI	LEICA MX
Id Sensor/Controlador	100348/149044	Mexi /34073
Modo de operación	STS	STS
Interv. de observ (s)	15.0	15.0
Lect. Alt/offset Ant. (m)	1.400 /0.000	1.065 /0.000
Excentricidad E/N/H (m)	0.000 /0.000 /0.000	0.000 /0.000 /0.000

BL_SI.1 INFORMACIÓN DEL SATÉLITE

SV id	L1 phase	L2 phase	L1 code	L2 code
4	43	42	80	78
7	84	84	84	84
8	84	84	84	84
11	48	47	48	47
27	62	58	59	57
28	60	59	60	59

Operación de la Estación de Referencia

ionospheric free solution with fixed integer ambiguities

SV id	L1 phase	L2 phase	L1 code	L2 code
4	42	42	0	0
7	84	84	0	0
8	46	46	0	0
11	47	47	0	0
27	57	57	0	0
28	59	59	0	0

baseline change of ionospheric free solution

WGS84	previous [m]	change [m]	change [ppm]
x	-1019.5628	-0.0121	-2.21
y	-1684.9134	-0.0410	-7.51
z	-5096.1884	0.0294	5.38
s	5463.4767	-0.0125	-2.29
h	35.1828	0.0498	9.11

BL_EA.1 ELEVACIÓN / AZIMUT

sat id :			8	7	4			
hh:mm:ss	PDOP	GDOP						
07:54:00	--	--	82/ 73	59/278	20/189			
07:54:15	--	--	82/ 74	59/278	20/189			
07:54:30	--	--	82/ 75	59/279	20/189			
07:54:45	--	--	82/ 76	59/279	20/189			
07:55:00	--	--	82/ 77	59/279	20/189			
07:55:15	--	--	82/ 78	59/279	21/189			
sat id :			8	7	4	27		
hh:mm:ss	PDOP	GDOP						
07:55:30	--	--	82/ 79	59/280	21/189	50/137		
07:55:45	--	--	82/ 80	59/280	21/189	49/138		
sat id :			8	7	4	27	28	
hh:mm:ss	PDOP	GDOP						
07:56:00	3.2	3.8	82/ 81	59/280	21/189	49/138	45/356	
07:56:15	3.2	3.9	82/ 82	59/280	21/189	49/138	45/356	
07:56:30	3.2	3.9	82/ 83	59/281	21/188	49/138	45/356	
07:56:45	3.2	3.9	82/ 83	59/281	21/188	49/138	45/356	
07:57:00	3.3	3.9	82/ 84	59/281	21/188	49/138	45/356	
07:57:15	3.3	3.9	82/ 85	59/281	21/188	49/138	45/357	
07:57:30	3.3	3.9	82/ 86	59/282	22/188	49/138	45/357	
07:57:45	3.3	3.9	82/ 87	59/282	22/188	49/138	45/357	
07:58:00	3.3	3.9	82/ 88	59/282	22/188	48/139	45/357	
07:58:15	3.3	3.9	82/ 89	59/282	22/188	48/139	45/357	
07:58:30	3.3	3.9	81/ 90	59/282	22/188	48/139	45/357	
07:58:45	3.3	3.9	81/ 91	59/283	22/188	48/139	45/358	
sat id :			8	7	4	27	28	11
hh:mm:ss	PDOP	GDOP						
07:59:00	2.5	3.0	81/ 92	59/283	22/188	48/139	45/358	29/ 56
07:59:15	2.5	3.0	81/ 92	59/283	22/188	48/139	45/358	29/ 56

Operación de la Estación de Referencia

07:59:30	2.5	3.0	81/ 93	59/283	22/188	48/139	45/358	29/ 56
07:59:45	2.5	3.0	81/ 94	59/284	22/188	48/139	45/358	29/ 56
08:00:00	2.5	3.0	81/ 95	59/284	23/188	48/139	45/358	29/ 56
08:00:15	2.6	3.0	81/ 96	59/284	23/188	47/139	45/358	29/ 55
08:00:30	2.6	3.0	81/ 97	59/284	23/188	47/140	45/359	29/ 55
08:00:45	4.8	6.0	81/ 98	59/285	23/188	47/140	45/359	29/ 55
08:01:00	4.8	6.0	81/ 98	59/285	23/188	47/140	45/359	29/ 55
sat id :			8	7	27	28	11	
hh:mm:ss	PDOP GDOP							
08:01:15	4.8	6.0	81/ 99	59/285	47/140	45/359	29/ 55	
sat id :			8	7	4	27	28	11
hh:mm:ss	PDOP GDOP							
08:01:30	4.8	6.0	81/100	59/285	23/188	47/140	45/359	29/ 55
08:01:45	4.8	6.0	81/101	59/286	23/188	47/140	45/359	28/ 55
08:02:00	4.8	6.0	81/102	59/286	23/188	47/140	45/359	28/ 55
08:02:15	4.8	6.0	81/102	59/286	24/188	47/140	45/360	28/ 55
08:02:30	4.8	6.0	81/103	59/286	24/188	46/140	45/360	28/ 55
08:02:45	4.8	6.0	81/104	59/287	24/188	46/140	45/360	28/ 54
sat id :			8	7	27	28	11	
hh:mm:ss	PDOP GDOP							
08:03:00	4.8	6.0	81/105	59/287	46/140	45/ 0	28/ 54	
sat id :			8	7	4	27	28	11
hh:mm:ss	PDOP GDOP							
08:03:15	4.8	6.0	81/105	59/287	24/188	46/141	45/ 0	28/ 54
08:03:30	4.8	6.0	81/106	60/287	24/188	46/141	45/ 0	28/ 54
08:03:45	4.8	6.0	80/107	60/288	24/188	46/141	45/ 1	28/ 54
08:04:00	4.8	6.0	80/108	60/288	24/188	46/141	45/ 1	28/ 54
08:04:15	4.8	6.0	80/108	60/288	24/188	46/141	45/ 1	28/ 54
08:04:30	4.8	6.0	80/109	60/288	25/188	46/141	45/ 1	28/ 54
08:04:45	4.8	6.0	80/110	60/288	25/188	45/141	45/ 1	28/ 54
08:05:00	4.8	6.0	80/110	60/289	25/188	45/141	45/ 1	28/ 54
08:05:15	4.8	6.0	80/111	60/289	25/188	45/141	45/ 1	28/ 54
08:05:30	4.8	6.0	80/112	60/289	25/188	45/141	45/ 2	27/ 53
08:05:45	4.8	6.0	80/112	60/289	25/188	45/141	45/ 2	27/ 53
08:06:00	4.8	6.0	80/113	60/290	25/188	45/142	46/ 2	27/ 53
08:06:15	4.8	6.0	80/114	60/290	25/188	45/142	46/ 2	27/ 53
08:06:30	4.8	6.0	80/114	60/290	25/188	45/142	46/ 2	27/ 53
08:06:45	4.8	6.0	80/115	60/290	26/187	45/142	46/ 2	27/ 53
08:07:00	4.8	5.9	80/115	60/291	26/187	44/142	46/ 2	27/ 53
08:07:15	4.8	5.9	79/116	60/291	26/187	44/142	46/ 3	27/ 53
08:07:30	4.8	5.9	79/117	60/291	26/187	44/142	46/ 3	27/ 53
08:07:45	4.8	5.9	79/117	60/291	26/187	44/142	46/ 3	27/ 53
08:08:00	4.8	5.9	79/118	60/292	26/187	44/142	46/ 3	27/ 53
sat id :			8	7	27	28	11	
hh:mm:ss	PDOP GDOP							
08:08:15	4.8	5.9	79/118	60/292	44/142	46/ 3	27/ 53	
08:08:30	4.8	5.9	79/119	60/292	44/142	46/ 3	27/ 52	

BL_PI.1 INFORMACIÓN DEL PROCESO

Reference receiver type : SR530

Operación de la Estación de Referencia

Reference antenna type : AT503 Tripod
Rover receiver type : SR399
Rover antenna type : SR299/399 Antena Int
Total number of used measurements : 755
Root mean square unit weight : 1.4415

Ionospheric free solution with fixed integer ambiguities
Reference receiver type : SR530
Reference antenna type : AT503 Tripod
Rover receiver type : SR399
Rover antenna type : SR299/399 Antena Int
Total number of used measurements : 335 L3 phase
Total number of ambiguities : all forward fixed used
Root mean square unit weight : 0.1593

BL_PC.1 EXCENRICIDADES CENTRO DE FASE

Phase center values (in meters) used for reference site:

Antenna type : AT503 Tripod

Antenna nr : 0

L1 (N, E, U) : 0.0000 0.0000 0.0788

L2 (N, E, U) : 0.0000 0.0000 0.0943

Antenna model (Elevation/Azimuth) used : Elevation/Azimuth dependent model (Grid)

#Elevation/Azimuth coefficients (in mm): 19/1

A\Z	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
	50	55	60	65	70	75	80	85	90	
L1 0	-1.90	-1.80	-1.40	-1.10	-0.90	-0.40	0.20	0.70	1.00	1.10
	1.20	1.10	0.70	0.00	-1.00	-2.00	-2.90	-3.60	-3.90	
L2 0	-1.10	-0.90	-0.50	-0.20	0.00	0.10	0.40	0.60	0.70	0.60
	0.40	0.20	-0.10	-0.30	-0.50	-1.00	-2.00	-3.20	-3.70	

Phase center values (in meters) used for rover site:

Antenna type : SR299/399 Antena Int

Antenna nr : 0

L1 (N, E, U) : 0.0000 0.0000 0.1137

L2 (N, E, U) : 0.0000 0.0000 0.1195

Antenna model (Elevation/Azimuth) used : Elevation/Azimuth dependent model (Grid)

#Elevation/Azimuth coefficients (in mm): 19/1

A\Z	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
	50	55	60	65	70	75	80	85	90	
L1 0	0.00	1.00	2.80	5.10	7.50	9.70	11.60	12.90	13.60	13.70
	13.10	12.00	10.50	8.90	7.30	6.20	5.80	6.80	9.50	
L2 0	0.00	0.00	0.20	0.50	0.90	1.30	1.80	2.20	2.60	2.80
	2.80	2.60	2.20	1.30	0.00	-1.80	-4.30	-7.40	-11.40	

BL_FS.1 ESTADÍSTICAS FARA

Ambiguity Resolution Description:

Ambiguity tests: test 1 - rms float not significantly bigger than rms a priori
test 2 - rms fix not significantly bigger than rms a priori
test 3 - rms fix is significantly smaller than rms fix 2

Operación de la Estación de Referencia

Ambiguity Resolution at : 08:10:45 successful

3rd test passed alpha 0.001 [%] Failure probability 0.000 [%]

Ambiguity Values

Reference Satellite(s): 8/L1 8/L2

set#	7/L1	7/L2	4/L1	4/L2	27/L1	27/L2	28/L1	28/L2	11/L1	11/L2
1	-80	-140	14	-19	-48	-85	-51	-90	-1	-37
2	-76	-137	10	-22	-53	-89	-52	-91	-10	-44

rms float	11.2 [mm]	a priori	30.0 [mm]
rms fix	14.4 [mm]	ratio	1.2284

Ambiguities of forward processing used for backward without any change.

BL_CS.1 INFORMACIÓN SALTOS DE CICLO

Número saltos de ciclo : 4

Hora	hr. desde inicio(seg)	SV id	frec	salt cic (ciclo)	valor fracc (ciclo)
04/20/2002 08:02:00	720	27	1	-0.4	-0.396 ría
04/20/2002 08:05:30	930	27	2	-0.3	-0.307 ría
04/20/2002 08:05:45	945	27	1	-0.3	-0.308 ría
04/20/2002 08:09:00	1140	27	1	-0.3	-0.305 ría

BL_FC.1 COORDENADAS FINALES

Móv:FI Ref:LEICA MX Amb:S Proc: Fijo s/Ionosfera 04/20/2002 07:50:00

Cartesianas :

X	-961400.6780 m	Y	-5945695.4938 m	Z	2098724.2565 m
dX	-1019.5749 m	dY	-1684.9544 m	dZ	-5096.1590 m
sX	0.0008 m	sY	0.0022 m	sZ	0.0010 m

Geodésicas :

Lat	19 19 51.82092 N	Lon	99 11 06.18543 W	a	2294.3341 m
dLat	-2 55.98592	dLon	-25.26604	da	33.8326 m
sLat	0.0007 m	sLon	0.0009 m	sa	0.0022 m

Distancia:

Inclin 5463.4642 m sInclin 0.0008 m

BL_VC.1 MATRIZ VARIANZA-COVARIANZA

emc a posteriori : 0.1593

Matriz de co-factor (triáng. sup [m*m]) :

	qx	qy	qz
qx	+2.6302098E-005	-1.7209592E-007	+5.2477197E-006
qy		+1.8275639E-004	-5.5521132E-005
qz			+3.9503232E-005

V.4.4 Conclusión.

Con este pequeño proyecto se comprobó el buen funcionamiento del equipo y la precisión que logra con tan poco tiempo de observación, en distancias cortas con un numero regular de obstáculos en la recepción de señal, pero también se pueden obtener buenas precisiones en un radio de 100 km. con una hora aproximada de observación. Excediendo esta distancia es necesario tener en cuenta un factor muy importante, que ambos equipos la estación y el receptor móvil no capten los mismos satélites.

También comparamos los datos obtenidos con posicionamientos que realizaron otras instituciones y empresas con equipo GPS mas reciente, el Instituto de Geofísica con equipo Leica GPS SR 510, INEGI con equipo GPS ASTEC survey y Leica Geosystems con su equipo GPS SR 530, obteniéndose los siguientes resultados.

WGS 84					
	Fecha	Estación	Latitud (N)	Longitud (W)	Alt. Elipsoidal
Inst. Geof.	16/Oct/2000	FI A	19°19'54.93958"	99°11'03.14582"	2295.328
FI	3/Mayo/2002		19°19'54.94396"	99°11'03.1438"	2295.898
Inst. Geof.	16/Oct/2000	FI B	19°19'51.81675"	99°11'06.19154"	2294.008
Leica	25/Oct/2001		19°19'51.81675"	99°11'06.19154"	2294.008
FI	22/Abril/2002		19°19'51.82092"	99°11'06.18543"	2294.335
Inst. Geof.	16/Oct/2000	Medicina	19°19'57.9886"	99°10'43.7788"	2259.901
INEGI	28/Nov/2001		19°19'57.9884"	99°10'43.7743"	2260.045
Leica	25/Oct/2001		19°19'57.9884"	99°10'43.7783"	2259.884
FI	3/Mayo/2002		19°19'57.9927"	99°10'43.7726"	2260.207
Inst. Geof.	16/Oct/2000	Estadio 1	19°19'58.4709"	99°11'41.9082"	2295.738
INEGI	28/Nov/2001		19°19'58.4707"	99°11'41.9044"	2295.545
Leica	25/Oct/2001		19°19'58.4702"	99°11'41.9088"	2295.725
FI	3/Mayo/2002	Estadio 2	19°19'58.4753"	99°11'41.9012"	2295.039
Inst. Geof.	16/Oct/2000		19°20'01.4091"	99°11'38.4634"	2290.871
Leica	25/Oct/2001		19°20'01.4093"	99°11'38.4681"	2291.021
FI	3/Mayo/2002		19°20'01.4136"	99°11'38.4620"	2291.335
INEGI	28/Nov/2001	Espacio Esc.	19°19'03.1043"	99°11'10.6845"	2306.860
Leica	25/Oct/2001		19°19'03.1034"	99°11'10.6884"	2306.853
FI	3/Mayo/2002		19°19'03.1082"	99°11'10.6784"	2307.221

En conclusión tomando en cuenta los resultados, de los diferentes receptores incluyendo el de nosotros el cual en la tabla lleva el nombre FI, se observa que tanto en la longitud como en la latitud la variación entre todos los receptores es de décimas de segundo, pero las elevaciones elipsoidales varían por centímetros de receptor a receptor, estas diferencias se deben a los errores ya mencionados que son:

- Errores relativos al satélite. Errores en el oscilador, errores o variaciones en los parámetros orbitales, geometría de la constelación, precisión de los datos recibidos.
- Errores relativos a la propagación de la señal. Refracción ionosférica, refracción troposférica, Disponibilidad Selectiva, pérdidas de ciclos, ondas reflejadas (multicamino), efectos relativistas.

Operación de la Estación de Referencia

- **Errores relativos al receptor.** Error en las coordenadas del punto de referencia, errores en el oscilador, error en el estacionamiento, error en la manipulación del equipo, variación y desfase del centro de la antena, ruido interno del receptor.

Estos errores son los causantes de la variación de nuestros posicionamientos con diferentes equipos, pero también demuestra que el equipo GPS SR399, sin lugar a dudas trabajaría de manera excepcional como estación de referencia, por que esta comparación es con equipos que se usan como estación de referencia e inclusive el equipo de la compañía Leica GPS SR 530, trabaja en tiempo real, pues los datos se calculan al momento y no necesita de un post-proceso, aunque para fines académicos los datos también se procesaron, pero el equipo GPS con que cuenta la facultad es apto para los fines buscados.

CAPITULO VI
APLICACIONES Y SERVICIOS

APLICACIONES Y SERVICIOS

Es de pensarse que con la puesta en funcionamiento de la estación de referencia, se abrirán las puertas a un sin número de aplicaciones de las cuales se podrán derivar servicios diversos de utilidad para nuestra Universidad como también para el sector privado de varias ramas.

El Sistema de Posicionamiento Global tiene una variedad de aplicaciones en tierra, aire y mar. Básicamente, La tecnología GPS puede ser utilizada en cualquier lugar, menos en aquellos en los cuales es imposible recibir señal, como por ejemplo dentro de edificios, subterráneos o bajo el agua. En el aire, los GPS son utilizados para la navegación aérea, tanto en aeronáutica militar como en aviación comercial y general. En el mar, los GPS también son utilizados por aficionados a la náutica, pescadores y marinos profesionales. Las aplicaciones terrestres en cambio son más diversificadas. La comunidad científica por ejemplo utiliza la tecnología GPS para obtener datos de posición y tiempo muy precisos.

En este capítulo se hablara sin profundizar en las aplicaciones de esta tecnología y los servicios que bien se pueden derivar de las mismas, considerando también un gran campo de investigación, los usuarios potenciales serian instituciones publicas y privadas encargados de establecer puntos geodésicos y/o topográficos con equipo GPS, sin perder de vista que hay aplicaciones donde intervienen otras ramas de la ingeniería.

VI.1 APLICACIONES Y TENDENCIAS.

Las aplicaciones de GPS son muy diversas, ya sean de localización, navegación, topografía, geodesia, rastreo, cartografía y tiempo exacto entre muchas otras.

Dicho lo anterior en los últimos tiempos se ha visto un incremento en la variedad de usuarios, que por lo general responde a determinados intereses, en adicción a los que pueden considerarse como usuarios tradicionales dentro de las comunidades geodesica, topográfica y cartográfica.

Con todas estas características enumeramos algunas de las utilidades que nos ofrece esta Estación de Referencia GPS de alta precisión, combinada con tecnologías de telefonía móvil y de Internet:

GEODESIA	TOPOGRAFÍA
<ul style="list-style-type: none">• Comprobación de Redes Geodésicas• Obtención de coordenadas WGS84 de vértices Geodésicos• Cálculo de parámetros de transformación del sistema WGS84 al sistema UTM.• Comprobación de las coordenadas con proyección UTM de los vértices.• Cálculo de modelos geoidales.• Implantación y densificación de nuevos vértices geodésicos y de nuevas antenas de Referencia GPS.	<ul style="list-style-type: none">• Levantamientos topográficos de cualquier extensión• Implantación y control de bases de levantamiento y de replanteo• Densificación de redes de cuarto orden• Replanteo de cualquier tipo de infraestructura (Tiempo Real)• Obtención de coordenadas locales (UTM) de puntos de apoyo• Control Fotogrametrico• Batimetría

En el ámbito de aplicaciones submétricas, podemos desempeñar labores en aspectos cartográficos, agrícolas, forestales, medioambientales, catastrales y en todas aquellas donde las precisiones necesarias no superen los 2-3 metros de diferencia.

A continuación presentamos un cuadro con algunas de las tareas que podemos realizar en los ámbitos de la cartografía y la agricultura:

AGRICULTURA	CARTOGRAFÍA
<ul style="list-style-type: none">• Confección de mapas de Linderos• Confección de mapas de Rendimiento• Muestreo de Suelos• Aplicaciones variables de herbicidas, pesticidas y nutrientes• Plantación de semillas• Evaluación de daños en el campo• Pulverizaciones Aéreas• Seguimiento de lodos y Monitorización medioambiental• Control de inyección directa• Guiado de maquinaria• Confección de mapas y gestión forestal	<ul style="list-style-type: none">• Recolección de datos GIS• Mapeado de activos• Confección de mapas para servicios públicos• Monitorización Medioambiental• Operaciones ferroviarias• Inspección de carreteras• Estudios catastrales• Gestión forestal• Servicios de emergencia• Reconocimiento de rutas• Observaciones aéreas• Control de fotogrametría

VI.1.1 Otras Aplicaciones.

En la actualidad se han desarrollado técnicas para lograr exactitud topográfica y geodésica. Estas son conocidas como técnicas diferenciales o métodos de posicionamiento relativo. Mediante el uso de estas técnicas, se pueden lograr precisiones menores a 1 m, y dependiendo del tipo de procesamiento y equipo se puede llegar a precisiones del cm, incluso de mm.

Las aplicaciones en otras áreas son:

1. En **geodinámica** la determinación de la deformación y el desplazamiento de la corteza terrestre a nivel local.
2. En **obras civiles** el establecimiento de bases de replanteo de alta precisión en obras lineales de largo recorrido como carreteras, ferrocarriles..., y de grandes obras de ingeniería como túneles, puentes, presas... También la determinación de redes eléctricas, telefónicas, de conducción de aguas..
3. En **hidrografía costera** y mar adentro para la localización de la infraestructura (obras portuarias, plataformas y la configuración del suelo marino).
4. En **control de deformación de estructuras y hundimientos**, con el sistema GPS se pueden observar las ligeras variaciones de desplazamiento.
5. En **navegación terrestre** y marítima permite la situación instantánea y continua de cualquier vehículo sobre una cartografía digital. También permite la navegación precisa en tiempo real así como la disponibilidad instantánea de la dirección, velocidad y aceleración de los barcos y el guiado de los mismos.
6. En el **tema militar** existen numerosas aplicaciones entre las que cabe destacar: Guiado de misiles. El programa EDGE (Exploitation of Differential GPS for Guidance Enhancement) intenta guiar misiles hacia un blanco con el uso de GPS en lugar del anterior uso del guiado láser. Ensayos actuales consiguen acertar un blanco a 11 millas de distancia desde el

lugar de lanzamiento. En otro experimento una bomba lanzada a 8 Km de altura explotó a 2 m del blanco. El GPS se utilizó por primera vez en combate en la campaña Tormenta del Desierto contra Irak para guiar los misiles de crucero CALCM lanzados por los bombarderos B-52.

7. En **navegación aérea** destacamos: vuelo libre: se usa para facilitar el control de vuelo y mejorar la seguridad del mismo. Los aviones tienen una zona protegida, la zona de alarma, alrededor de ellos. Los pilotos tienen que efectuar una maniobra evasiva en caso de intersección entre dos zonas de alarma de dos aparatos diferentes. El GPS proporciona una situación correcta de cada avión en el espacio en tiempo real a las estaciones controladoras y monitorización continua de los aparatos.
8. En **localización** las más empleadas son para la localización de vehículos; dado el alto índice de robos de vehículos, algunas compañías fabricantes de automóviles y compañías aseguradoras han empezado a instalar este tipo de aparatos en lugares ocultos dentro de los automóviles. También muchos taxis y camiones de carga utilizan GPS en sus vehículos para que estos sean localizados desde sus oficinas.
9. En **rastreo** también es otra aplicación muy importante: por ejemplo, algunas compañías de flotillas de vehículos utilizan un programa de computadora provisto con un mapa de una ciudad o de una región, para rastrear todos sus vehículos.
10. En **tiempo exacto** que nos brinda el sistema GPS es utilizado para diversas aplicaciones de sincronización del tiempo, una de esas aplicaciones es que algunas cadenas de televisión utilizan este sistema para sincronizar las transmisiones y para sincronizar los comerciales y programas. Otras áreas de aplicación de la tecnología GPS es la agricultura, minería, arqueología, construcción, exploración, cinematografía, pesca deportiva, entre otras.

VI.1.2 Tendencias.

Los fabricantes de tecnología GPS ahora han encontrado otro potencial y lucrativo mercado: los teléfonos celulares; gracias a una iniciativa lanzada por la FCC (Federal Communications Commission) que entro en vigor en Estados Unidos el 01 de octubre de 2001, la cual menciona que cada sistema de celdas deberá ser capaz de localizar en caso de emergencia a sus teléfonos remotos dentro de un espacio de 125 metros, al menos el 67 por ciento del tiempo. Este programa es llamado E911 (Enhanced 911).

Dentro del área automovilística, una compañía con base en San José, Datus Inc., desarrolló un sistema de navegación portátil para vehículos con capacidad para calcular automáticamente las rutas, con instrucciones de voz a cada momento. Este sistema conocido como RouteFinder PNA opera bajo el ambiente Microsoft Windows CE y tiene un costo aproximado en el mercado de \$1.000 dólares.

Otro producto basado en GPS fue desarrollado por la compañía Clarion Corp. de Estados Unidos, conocida por fabricar equipos de sonido para automóviles. Clarion lanzó al mercado su más nuevo producto llamado Clarion AutoPC, el cual incluye características de comunicación, navegación, información y entretenimiento bajo el ambiente Windows CE. Con este sistema del tamaño de un estéreo para automóvil puedes hacer llamadas telefónicas "a manos libres", envío de correo electrónico, además de poseer una libreta de direcciones. Contiene también un modo de navegación con mapas y direcciones el cual puede ser activado mediante voz; con sólo decirle donde uno está y a donde quiere ir, el sistema AutoPC lo guiará a su destino. En la parte de información da la hora continuamente; también se le puede dictar alguna información y la graba en memoria. En la parte de entretenimiento contiene radio AM/FM, reproducción de CD/CD-ROM los cuales pueden ser activados con voz. Este producto ya se encuentra en el mercado en los Estados Unidos y tiene un precio de \$1.300 dólares.

En Japón existe un sistema llamado TGS, que es un sistema de navegación y controlador del tráfico que consta de sensores localizados en toda la ciudad y de aparatos receptores basados en GPS instalados en

automóviles dotados de mapas gráficos de toda la ciudad a nivel de calles. Este sistema da continuamente la información del tráfico, además de realizar cálculos de la ruta más corta y rápida hacia el destino.

Una parte muy importante de los receptores son los chips GPS (costarán entre \$20 y \$25 dólares a altos volúmenes); estos nuevos, baratos y compactos chips GPS se harán populares para corredores a campo traviesa, cazadores, exploradores, ciclistas, golfistas, esquiadores, combatientes etc. Todo el mundo podrá ser localizado por un dispositivo compacto que valdrá muy por debajo de los \$100 dólares.

VI.2 SERVICIOS A USUARIOS.

Como se mencionó anteriormente con el funcionamiento de una estación de referencia, la Facultad de Ingeniería, podría tener en sus manos la opción de brindar servicios a distintos usuarios, destacando las necesidades de cada uno de los usuarios, se puede decir que los usuarios potenciales o primarios son las instituciones públicas y privadas, que de cierta forma están vinculadas con la planeación regional y urbana, desarrollo y administración de recursos naturales, sistema de información catastral, sistemas de transporte, navegación y comunicaciones.

Lo anterior nos representa un panorama relativamente complejo desde el punto de vista de las múltiples aplicaciones de este sistema y las nuevas necesidades y requerimientos de nuestra sociedad.

Tomando en cuenta que contamos con dos receptores GPS el primero de una frecuencia y el segundo de doble, se pueden brindar algunos servicios pues hay factores a considerar que son determinantes tomando en cuenta lo siguiente, el tipo de aplicación, el número de receptores GPS, el tipo de enlace de comunicación, la modalidad de posicionamiento tiempo real o post-proceso.

Mencionado lo anterior podemos concluir que los servicios de la estación a brindar a instituciones públicas y privadas son:

1. Podrá ser utilizada por usuarios de la iniciativa privada y el sector público, que requieran datos GPS de referencia.
2. Permitirá la realización de proyectos que requieran posicionamiento geodésico con equipo GPS.
3. Servirá de apoyo a la docencia y a la investigación.
4. Permitirá la colaboración con otras instituciones en proyectos de investigación.

VI.2.1 Ejemplos.

Estos son algunos ejemplos de aplicaciones que se pueden realizar con una estación de referencia y un equipo GPS móvil.

MEDICIÓN DE CAMPOS DE DEFORMACIÓN CON GPS EN LA CORDILLERA ANDINA DE CHILE.

El objetivo del Proyecto es estimar exactamente la deformación actual incluyendo sus cambios temporales. Se tiene pensado medir el desplazamiento con aproximadamente 70 puntos discretos con la ayuda de GPS. La estimación de los campos de deformación debe completarse con estudios neotectónicos y paleosísmicos en diferentes escalas espaciales y temporales.

Las medidas GPS planeadas implican: una medición de repetición en la red Norte completa (70 puntos) en el marco de una campaña y la observación permanente en estaciones fijas en Antofagasta (Cordillera de la Costa) y Salta (retroarco). Para incluir también las diferencias en la deformación se tienen que aumentar la exactitud y la resolución temporal de la estimación de las coordenadas. La tarea prioritaria en la aplicación GPS, en vista de las cuestiones aquí presentadas, es la solución de las ambigüedades en grandes redes. Para ello se puede por un lado aumentar la precisión de la componente Oeste-Este, y por el otro mejorar la resolución temporal de la estimación de las coordenadas (actualmente 1 día).

Los primeros resultados derivados de la historia del levantamiento de las terrazas de la costa del norte y centro chileno permiten presumir, sobre varios ciclos sísmicos, diferencias laterales cuasi estables en el tiempo; que evidentemente se correlacionen con segmentos sísmicos. Además los corrimientos laterales paralelos al trench muestran cambios en los signos espaciales y temporales de

corto período. Estos podrían estar en relación con intensos temblores interplacas. Todas las investigaciones neotectónicas planeadas apoyan y completan los resultados de GPS y sirven a la construcción de un modelo perfeccionado. Ellas implican: investigaciones de la segmentación sísmica y del comportamiento de la deformación y de terremotos. Los estudios deben ayudar a aclarar las estructuras originadas en relación a fases individuales, vinculadas a ciclos de carga (temblores de interplacas) y servir para diferenciar las partes seculares de las transitivas en la deformación superficial medida. Entre otras cosas se tiene que investigar hasta qué punto el arco magmático actúa como una "frontera reológica" y en qué medida la deformación reciente al este y al oeste del arco magmático se diferencia significativamente una de la otra.

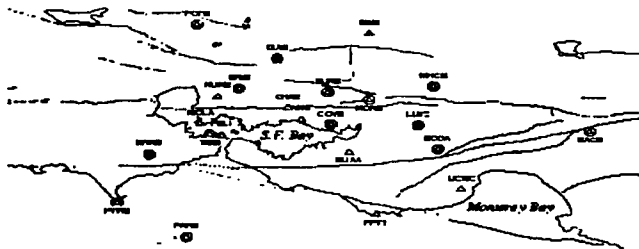
El objetivo de las investigaciones es entender mejor la deformación reciente, especialmente sus cambios temporales y espaciales. Los puntos centrales para propuestas futuras y vinculadas a ésta son la deducción y el modelado de procesos de deformación transitorios que están relacionados con terremotos y el vínculo de la deformación superficial con estructuras de la corteza profunda y del manto superior. Además los trabajos planeados deben dar aportes para mejorar la tasación de riesgo. Modelos más abarcadores implican el estudio de la transferencia de tensiones en el borde de la placa, la tasa de repetición de los temblores y la interacción de los segmentos sísmicos. Además las deformaciones postsísmicas medidas en la superficie ofrecen la posibilidad de modelar eventos de relajación y deducir parámetros reológicos de la corteza inferior y del manto superior.⁽²⁾

APLICACIONES DEL GPS EN LA INVESTIGACIÓN SÍSMICA

La posibilidad que nos da el sistema gps de conocer la posición exacta de un punto tiene una aplicación directa en el control de desplazamientos a diversas escalas.

En el Norte de California se está llevando a cabo un estudio para controlar los desplazamientos de la corteza terrestre en la zona del Pacífico Norte y Bahía de San Francisco. Su principal objetivo es detectar estos movimientos con antelación suficiente para poder predecir posibles terremotos y activar los servicios de protección.

La metodología seguida para desarrollar este proyecto ha consistido en la instalación de una red de 25 GPS que están tomando datos de posición de forma ininterrumpida durante las 24 horas del día. Los archivos RAW generados por los gps se comparan (postprocesado) con los archivos RINEX tomados por una estación de referencia, de este modo se puede llegar a obtener precisiones milimétricas. Tanto los ficheros RINEX como RAW son gestionados por el Centro de Datos Sismológico de California.



Distribución de los gps en la bahía de San Francisco.

Los primeros resultados de este estudio ya han sido procesados y serán publicados en próximas fechas. No obstante, ya se sabe que la utilidad del sistema ha sido comprobada y la red fija de gps se va a extender a otras zonas de América.⁽³⁾

EN EL PUENTE DE TSING MA DE HONG KONG EMPIEZA UNA NUEVA ERA DEL GPS

El puente de Tsing Ma, inaugurado en 1998, y los puentes de Kap Shui Mun y Ting Kau conforman la impresionante red de obras de ingeniería sobre los brazos de mar que separan el nuevo aeropuerto de Chek-lap-Kok, la ciudad de Hong Kong y los Nuevos Territorios.

Monitorización en tiempo real por GPS

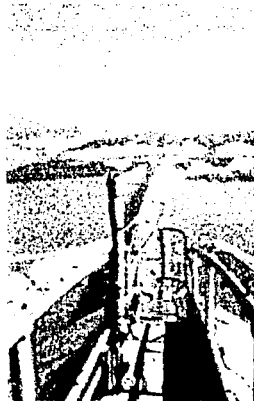
A pesar de que toda la red de puentes ya se controlaba con 756 sensores electrónicos de diferentes tipos anemómetros, termómetros, acelerómetros, etc., las autoridades de carreteras han decidido complementar la instalación con un sistema GPS de Leica. Con el se quiere, por un lado, vigilar el estado de los puentes mediante la determinación en tiempo real de posiciones tridimensionales absolutas y por otro lado, establecer un sistema independiente de los demás instrumentos existentes.

Control automático

El proyecto comprende el montaje y la conexión de 27 receptores Leica CRS 1500 en los extremos de los pilares, las vigas y los cables de los tres puentes. Al recibir las correcciones RTK transmitidas desde la estación de referencia a través de una red de cables de fibra óptica, las estaciones GPS proporcionan las correspondientes posiciones 3D en tiempo real con una frecuencia de actualización de 10 Hz. Todos los datos confluyen en el servidor de datos y en esa estación de trabajo son procesados por el software Bridge Monitoring Console.

Seguridad ante todo

Las autoridades competentes han establecido de esa manera un sistema de seguimiento y control automático mediante GPS con el cual vigilar el comportamiento y los desplazamientos sufridos por los tres puentes por causa de las influencias especiales del entorno, entre las que se cuentan la fuerza del viento, las oscilaciones térmicas, el oleaje y la actividad sísmica, así como las cargas por el aforo vehicular y las horas pico. (4)



**CAPITULO VII
CONCLUSIONES**

CONCLUSIONES

En la practica de la Topografía y la Geodesia la tecnología GPS parece estar asegurada ya que el sistema ha demostrado confiabilidad y capacidad para lograr mayores precisiones en cortos lapsos de tiempo. Aunque ha sido notorio que comúnmente las aplicaciones GPS son en proyectos de control los sistemas se han usado en todo tipo de levantamientos.

Con el estudio de nuevas aplicaciones y la continua investigación y creación de nuevas tecnologías para mejorar los sistemas existentes y reducir los costos de estos equipos, aunque el costo inicial del equipo GPS es muy alto, su rendimiento económico se ha demostrado, con forme avance el perfeccionamiento tecnológico de estos equipos las componentes del mismo serán mas pequeñas y con costos menores, en los últimos tiempos el costo ha disminuido en forma considerable y es de esperar que en algunos años estén al alcance de todos los Topógrafos que requieren alcanzar altas precisiones.

Es de suponerse que los levantamientos con GPS tienen muchas ventajas sobre los métodos tradicionales, como la rapidez precisión y capacidad operativa de día y de noche y casi con cualquier clima, también la inter visibilidad entre estaciones ya no es requerida, pero como toda tecnología tiene sus limitantes como las obstrucciones inevitables de los satélites, tales como edificios, levantamiento de túneles y minas, por esa razón siempre se debe considerar al GPS como una herramienta que agiliza el trabajo, pero por ningún motivo remplazara a la Topografía y Geodesia clásica o convencional.

Con la eliminación del error introducido a propósito en las señales de GPS, nuevos servicios se esperan. Todas las aplicaciones que utilizan GPS se verán beneficiadas, ya que contarán con mejor precisión y ya no se tendrá que recurrir en la mayoría de ellas a la técnica DGPS.

El futuro de la localización por satélite es impresionante, existen muchas compañías involucradas en la fabricación de dispositivos electrónicos, la competencia dará como resultado que se abaraten aún más los equipos receptores GPS. La tecnología algún día estará al alcance de todos y en el futuro comprar un sistema GPS será tan común como comprar un reloj. Todos de alguna manera estaremos localizados y el "estar perdidos" saldrá de nuestro vocabulario.

Durante el desarrollo de este trabajo de investigación pude darme cuenta que el Ingeniero Topógrafo y Geodesta, en la actualidad no solo debe dominar las bases clásicas de la Topografía y la Geodesia, las cuales fundamentan las nuevas tecnologías y su funcionamiento esta basado en ellas.

Ahora también se debe de ir ya relacionando los avances tecnológicos que se están dando a grandes pasos en estos últimos tiempos, por esto debemos pensar mas en involucrarnos con las nuevas herramientas tecnológicas que nos facilitan nuestra labor, como son las estaciones totales, los SIG, los equipos GPS, los software relacionados a todo lo anterior y otras tantas herramientas que ya en nuestro país se están usando por el sector gubernamental y el privado.

RECOMENDACIONES:

Este trabajo solo abarca una de las tantas tecnologías que hay en nuestro ámbito profesional, para consolidar aun más los conocimientos impartidos en nuestra carrera, de aquí surgió la idea de establecer una estación de referencia en nuestra Facultad, por lo que podría mencionar algunas recomendaciones para el mismo:

La primera y mas importante llevar a cabo el establecimiento de la estación, para beneficio de la carrera y la misma facultad.

La Facultad cuenta con un receptor GPS SR 399 de doble frecuencia y otro receptor GPS SR 9400 de una frecuencia, es de suponer que el primero será seleccionado para ser la estación de referencia fija por la característica de ser un receptor de doble frecuencia y el segundo como receptor remoto, a estos receptores les faltan accesorios para funcionar de manera autónoma es por eso que se recomienda adquirir para estos equipos.

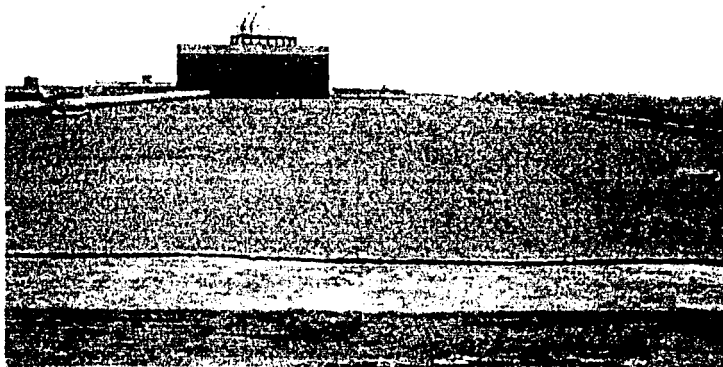
Conclusiones

- El software, necesitamos dos programas, primeramente el MULTISTATION el cual programa a los receptores para que trabajen óptimamente como estación de referencia, en segunda el SKY-PRO para manipulación y proceso de datos GPS, ambos de Leica y son compatibles para los receptores anteriormente mencionados.
- Un controlador CR-344 para configurar y manejar el receptor SR 9400, una tarjeta de memoria PCMCIA de 2MB para almacenar la información recolectada en el controlador, así como también el cable de conexión entre el receptor y la antena de este mismo equipo.
- Una computadora portátil para procesar los datos recabados en estos receptores.

Es necesario recomendar también la adquisición de los equipos de computo mencionados en el capítulo IV para poder probar el funcionamiento del equipo en forma temporal emplazado en algún sitio como estación de referencia en lo que se concreta el proyecto.

Es también necesario recomendar la adquisición de 2 equipos GPS geodésicos de ultima generación para estar a la vanguardia junto con otras instituciones, y como ya contamos con 2 equipos geodésicos de Leica es lógico pensar en adquirir un receptor CRS 1000 y un SR 500 ambos equipos de leica, estos equipos son de doble frecuencia y cuentan con la opción en tiempo real, solo que SR 500 se usaría como receptor móvil, pues el receptor CRS 1000 esta exclusivamente diseñado para estar fijo, son equipos ligeros fáciles de manejar, precisos, respuesta rápida, resultados en el sitio y son compatibles con el software que adquiera facultad para los equipos ya existentes.

Se analizaron además los dos edificios que conforman el edificio principal de la facultad, esto para determinar el lugar para emplazar la antena, llegando a la conclusión de que lo mas conveniente es construir el monumento para la antena en el edificio B, esto debido a que tiene menos inconvenientes y además la carrera cuenta con un lugar propio para manejar la estación, este lugar es la cúpula y se encuentra a escasos 30m de ella como se muestra en la foto, la cúpula solo se tendría que acondicionar a las necesidades requeridas para el proyecto.



Hay demasiadas formas de monumentalizar una estación, lo mas conveniente para nuestro caso es anclar a 2 o 3 metros al este de la placa una base de concreto que a su vez ancle una estructura de hierro o

Conclusiones

concreto con una elevación de 2m, se puede recomendar una estructura o monumento como la del edificio A, que sostenga nuestro receptor.

Por lo tanto sería necesario tener en cuenta la creación de nuevas plazas en la facultad, para la operación de esta estación, por si en un mediano a largo plazo de tiempo el proyecto planteado se materialice y sea una realidad.

Estas recomendaciones son primeramente con el objetivo principal de establecer la estación de referencia, se menciona primero el software por que no tenemos manera de procesar información obtenida en nuestro GPS pero también para poder configurar un equipo como estación de referencia, esto es para beneficiar a los alumnos a los académicos y a la misma Facultad, con la estación se pueden crear convenios con diferentes empresas privadas y gubernamentales, para la realización de proyectos que requieran posicionamiento geodésico con equipo GPS, en los cuales se verían involucrados los alumnos y profesores explotando los conocimientos adquiridos, mientras la Facultad estaría recuperando su inversión, es por eso que hay que adquirir un par de nuevos equipos GPS para estar a la vanguardia y poder realizar los proyectos "in situ", y considerando que la Facultad cuenta con equipos GPS geodésicos de características ya comentadas en el Capítulo III estos equipos serian factibles para las practicas del alumno.

Pero también es de pensarse que para proyectos extensos o que tenga que estar estacionado un equipo para control cierto tiempo, suponiendo la adquisición de un par de GPS, se tendría entonces una estación fija y tres equipos móviles con lo cual se pueden brindar mayores servicios puesto que las practicas con estos equipos GPS son una vez a la semana.

Puedo deducir que todas las partes saldrían beneficiadas con el hecho de poner en marcha este proyecto. Puesto que podrá ser utilizada como estación GPS de referencia por usuarios de la iniciativa privada y el sector publico que requieran de datos GPS, a los cuales podrán acceder por internet a bajo costo.

También durante la investigación para elaborar este trabajo pude apreciar un sin fin de aplicaciones de esta tecnología dejando las puertas abiertas a un sin numero de temas a desarrollar uno de los cuales se tiene que considerar como mas importante el manejo y aplicación del software que utilizan nuestros equipos, necesitamos conocer muy a fondo el programa MULTISTATION para el control y configuración de la estación y el programa SKY-PRO para el procesamiento de datos, ambos software de Leica estos temas son muy extensos y están relacionadas directamente con el presente trabajo basado en equipos Leica, por lo extenso de los mismos solo se hablo de ellos muy brevemente.

En Capítulo VI se vieron algunas de las aplicaciones de la estación, las tendencias para el uso de los GPS, de esto se puede concluir que con la operación de la estación de referencia se abrirán las puertas aun sin numero de líneas de investigación para el desarrollo de mas trabajo en varias ramas de la Ingeniería.

Por todo lo expuesto anteriormente pretendo que este trabajo sirva como base para que alguien continuase desarrollando el tema y se pueda ir abriendo un campo de investigación, por lo que hago una atenta invitación para que se dediquen un poco mas a la investigación en el área de la Ingeniería Topográfica y Geodesia.

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

Bibliografía y Referencias

Bibliografía.

1. *GPS Satellite Surveying.*
Leick Alfred.
2ª Edición.
Ed. J. Wiley.
New York 1995.
2. *GPS for Land Surveyors.*
Von Sickie Jon.
Ed. Ann Abbo.
Michigan 1996.
3. *GPS for Geodesy.*
Teunissen J. G. Peter, Kleusberg Alfred.
2ª Edición.
Ed. Springer.
Berlin 1998.
4. *El Sistema de Posicionamiento Global (GPS).*
Martinez Rosique Juan
Ed. Servicio de Publicaciones.
Universidad Politécnica de Valencia 1996
5. *Global Positioning Systems, Inertial Navigation and Integration.*
Mohinder S. Grewal, Laurence R. Weill, Angus P. Andrews.
Ed. J. Wiley.
New York 2001.

Referencias.

- (1). *La Nueva Red Geodesica Nacional una Visión Hacia el Futuro.*
INEGI
México 1995.
- (2). *Medición de Campos de Deformación con GPS.*
Dr. Jurgen Klatz
Universidad de Postdam.
Alemania 1999-2001.
<http://sfb267.geoinf.fu-berlin.de/>
- (3). *Aplicaciones del GPS en la investigación Sísmica.*
Revista Mundo GPS.
España.
<http://www.mundogps.com>
- (4). *En el Puente de Tsing Ma de Hong Kong Empieza una Nueva Era del GPS.*
Revista Reporter.
Leica Geosystems México 2001

Bibliografía y Referencias

WEB.

SCIGN

<http://www.scign.org/>

IIGEB

<http://www.iigeb.gov/>

IIGS

<http://www.iigs.gov/>

NGS

<http://www.ngs.noaa.gov/>

UNAVCO

<http://www.unavco.ucar.edu/>

Geosciences Research División of the National Geodetic Survey.

<http://www.grdl.noaa.gov/>

Instituto de Geofísica UNAM

<http://tlacael.el.igeofcu.unam.mx/~vladimir/gpsred/gpsred.html>

Leica Geosystems

www.leica-geosystems.com

SOKKIA

www.sokkia.com

TRIMBLE

www.trimble.com

ASHTech

www.ashtech.com

TOPCON

www.topcon.com

GLOSARIO

A

Accuracy = Exactitud

Ajuste

Procedimiento por el cual se someten las observaciones de una figura geodésica a compensación.

Almanaque

Es un conjunto de parámetros incluidos en el mensaje de navegación de cada satélite que el receptor utiliza para predecir la posición aproximada de todos ellos, a una hora determinada, en cualquier punto de la Tierra.

Altura del geoides = Ondulación del geoides

Altura Elipsoidal

Medida de la distancia de un punto terrestre a la superficie de un elipsoide referencia.

Altura ortométrica = cota

Medida de la distancia de un punto al geoides según la línea de la plomada.

Ambigüedad

El número arbitrario de ciclos de una observación de fase al comienzo de ésta. La fase de la onda que ingresa es comparada con la fase de una señal de referencia generada dentro del receptor. La diferencia de fase observada corresponde a la porción residual de una onda completa. El número total, N, de ondas completas entre observador y satélite es, al principio, incógnita. Esta ambigüedad se mantiene tanto como el receptor invierta en determinarla mediante una técnica adecuada.

Antena

Es el componente de un sistema GPS que, centrado sobre el punto, colecta las señales provenientes de los satélites y las envía al receptor para el procesamiento.

AS o Anti-Spoofing = Anti-engaño

Es un tratamiento aplicado a la señal cuya finalidad es que los receptores no caigan en la trampa de tornar como auténticas señales falsas emitidas por el enemigo. Para ese fin se procede a encriptar el código P a través de un nuevo código secreto, W, generando en total un llamado "código Y", protegido, al cual pueden acceder sobre ambas portadoras sólo los usuarios autorizados a través de una clave otorgada por el DoD.

B**Block I, II, IIR, IIF**

Son distintas generaciones de satélites GPS según reemplazos progresivos. Los últimos corresponden a una clase que operará en el futuro.

C/A code = Coarse/Acquisition code = Código C/A

Canal

Es el circuito de un receptor GPS necesario para recibir la señal de un único satélite.

C**Centro de fase**

El centro de fase de una antena es el lugar físico de ésta donde las señales crudas GPS son observadas y, en consecuencia, el punto cuya posición será determinada. Por eso, para lograr las coordenadas de una marca del terreno, deben encontrarse ambos sobre la misma vertical (antena centrada) y medirse la distancia entre ambos a fin de incorporar este dato al procesamiento.

CEP = Error Probable Circular

Ciclo faltante o ciclo perdido

Discontinuidad en la medición de fase resultante de la pérdida de conexión durante el seguimiento de un satélite.

Código C/A

Modulado sobre la señal GPS L I. Se trata de una secuencia de 1023 bits generados con una frecuencia de 1,023MHz (millones de bits por segundo), por lo que se repite íntegramente cada milisegundo. En otras palabras, es una serie ordenada de dígitos binarios (0 y 1) modulada sobre la señal según un patrón propio de cada satélite. Esto se traduce en un ruido electrónico con apariencia azarosa, por eso se lo llama Pseudo Random Noise o PRN. Cada satélite tiene el suyo y se lo usa para identificarlo, SV1 al 36. Su función es permitir determinar el tiempo invertido por la señal en recorrer la distancia entre el satélite y el receptor: $distancia = velocidad * tiempo$

Código P

Código preciso o protegido de la señal GPS, usado normalmente por los receptores militares o usuarios autorizados por el DoD. Difundida en 10,23Mhz, se trata de una secuencia binaria muy

larga (1014 bits) modulada sobre una portadora GPS, la cual se repite cada 267 días. Semanalmente se le adjudica a cada satélite una porción o segmento único del mismo modificándose los sábados a medianoche.

Constelación

• Conjunto de satélites GPS en órbita. Comprende 27 satélites NAVSTAR operacionales que giran en torno a la Tierra distribuidos en seis planos orbitales equidistantes, inclinados 55° con respecto al ecuador, describiendo órbitas casi circulares (excentricidad 0,01) a una altitud media de 20200km, con un período de 12 horas sidéreas. Esta última particularidad hace que para un lugar dado la configuración satelital se repita y que cada día la misma se adelante cuatro minutos con respecto al tiempo universal o el local.

• Un grupo específico de satélites usados para calcular la posición de un punto. Número mínimo: tres satélites para una determinación 2D, cuatro para 3D.

Corrección ionosférica = Retardo ionosférico

Corrección troposférica = Retardo troposférico

CTS = Sistema terrestre convencional

Acrónimo de Conventional Terrestrial System es un sistema conformado por un conjunto de coordenadas cartesianas de estaciones fundamentales dentro de una red global.

D

Datos crudos

Datos GPS que no han sido procesados o corregidos diferencialmente.

Datum geodésico

Modelo matemático elegido como el mejor ajuste para una parte o el total del geoides. Está definido por un elipsoide de dimensiones y orientación definidas relacionado con un punto de la superficie topográfica elegido como origen del mismo. Por su aplicación puede ser regional, nacional, continental o global.

Datum global

Un datum geodésico mundial está definido por el tamaño, forma y orientación de un elipsoide y la ubicación del centro de éste con respecto al centro de la Tierra.

Disponibilidad Selectiva

A fin de inducir imprecisión en las posiciones GPS el DOD ha introducido la SA (Selective

Availability) o Disponibilidad Selectiva, la cual consiste en un proceso de manipulación intencional de la señal del satélite, cuyos principales mecanismos son: la desestabilización sistemática del reloj (llamada técnica) y/o un error inyectado en sus datos o efemérides (técnica).

DOP = Dilución de la Precisión

Los DOP son números adimensionales que cuantifican la contribución de la disposición geométrica relativa de los satélites a la incertidumbre de una posición fija. Es decir, un DOP es una descripción del efecto de la geometría de los satélites que intervienen en la medición sobre el cálculo de las coordenadas del punto y el tiempo. Se representa por un escalar que multiplica al error medio cuadrático de la medida en sí, por lo tanto, a mayor DOP mayor inexactitud en el valor calculado. Los menores DOP están asociados a satélites separados y bien distribuidos sobre la esfera celeste.

Doppler shift

Aparente cambio de frecuencia de una onda causado por el movimiento relativo transmisor-receptor.

Double difference = Doble diferencia

Observable GPS formado por diferencias de fases, o pseudodistancias, medidas por un par de receptores *i, j* que rastrean el mismo par de satélites, S1, S2. Las dobles diferencias se usan esencialmente para eliminar todos los errores de reloj.

E

ECEF = Earth Centered Earth-Fixed

Sistema tridimensional de coordenadas cartesianas fijadas a la Tierra de modo tal que el origen coincide con el baricentro terrestre, el eje X en la intersección del primer meridiano con el ecuador, Y en la longitud 90° y Z paralelo al eje de rotación terrestre. La versión corriente de este sistema es el llamado WGS84.

Efemérides

Conjunto de parámetros numéricos que describen las posiciones precisas de los satélites en función del tiempo. Las mismas pueden ser transmitidas o precisas.

• Efemérides transmitidas (Broadcast Ephemeris): cada satélite transmite su propia efemérides extrapolada, la que repite cada 30 segundos.

- **Efemérides precisas:** se calculan en base a observaciones realizadas por redes de rastreo de los satélites GPS y está disponibles unos días después de la toma de datos.

Elementos keplerianos

Seis parámetros que describen teóricamente la posición y velocidad de un satélite sobre una órbita elíptica pura.

Elipse de error

Es una figura cuyos parámetros señalan aspectos de la precisión de la posición de un punto después de haberse realizado un ajuste por cuadrados mínimos. Su semieje mayor significa en módulo y orientación el máximo error estándar y el semieje menor, el mínimo, en tanto que la superficie de dicha elipse representa un porcentaje cercano al 37% de probabilidad de ubicación del punto. Para alcanzar la imagen del 95% de probabilidad deben multiplicarse los semiejes por 2,5.

Elipsoide

Superficie matemática cuyas secciones planas son elipses, la cual es usada para representar la Tierra. En Geodesia se aplica el "elipsoide de revolución aplastado", figura tridimensional generada por una elipse que rota alrededor de su eje menor. Se define por dos cantidades, semieje mayor y aplastamiento: a y $f = (a - b) / a$

Elipsoide de error

Concepto análogo al de elipse de error aplicado a 3D.

EGM = Earth Gravitational Model

Modelo gravitatorio terrestre

EMC = Error Medio Cuadrático

Definido matemáticamente como la raíz cuadrada del cociente entre la suma de los cuadrados de los errores aleatorios y el número de errores menos uno, se minimiza con una solución por el método de los cuadrados mínimos. Él da una medida estadística de la dispersión de las posiciones calculadas en torno a la "posición mejor ajustada". A menor EMC mayor precisión.

Error Probable Circular = CEP

Una medida estadística de la precisión horizontal. El CEP es el valor que define un círculo de un radio tal que encierra el 50% de los puntos datos.

Error Probable Esférico = SEP

Una medida estadística de la precisión 3D. El SEP es el valor que define el radio de una esfera que contiene la mitad de los puntos datos.

Errores aleatorios o accidentales

Errores que no obedecen a un ley matemática o física conocida y tienden a distribuirse en torno a la media simétricamente, con frecuencia creciente en la medida que disminuye su magnitud.

Errores groseros

Errores o yerros que resultan del mal funcionamiento del equipo, condiciones de observación adversas o de una equivocación o distracción del operador. Son fáciles de reconocer y deben excluirse de cualquier procesamiento posterior.

Errores sistemáticos

Errores que siguen una ley determinada que sesga las observaciones porque actúan siempre en mismo sentido. Deben eliminarse determinando su influencia para corregirlos o por una técnica adecuada de medición.

Error estándar (: sigma)

Concepto equivalente al de EMC.

Error relativo

Número que caracteriza la relación entre el error y la magnitud medida. Corrientemente se la expresa en ppm o como $1/x$.

F

Firmware

Dispositivo electrónico básico de un receptor GPS donde están codificadas las instrucciones relativas a las funciones del mismo e insertados los algoritmos de procesamiento de datos como partes integrales del circuito interno.

Frame/Framework = Marco de referencia

Frecuencia portadora

Frecuencia de una señal no modulada que emite un radio transmisor.

G

GDOP

Medida de la calidad geométrica de una constelación para las soluciones conjuntas de posición y tiempo.

Geoide

Es una superficie particular equipotencial del campo gravitatorio terrestre (perpendicular a la dirección de la gravedad en todos sus puntos), ondulante y suavizada, que coincide con el nivel medio del mar imaginado extendido a través de los continentes. Muchos receptores GPS, así

como los software tienen incorporado un modelo de geode para poder corregir las posiciones determinadas por la separación geode-elipsoide.

GLONASS (Global Navigation Satellite System)

Глобальная Навигационная Спутниковая Система: sistema ruso de navegación por satélites de diseño muy similar al GPS.

GMT

Hora de Greenwich.

GRS80

Sistema de Referencia Geodésica adoptado por la Asamblea General de Asociación Internacional de Geodesia (IAG) del año 1979. Sus principales parámetros son: $a = 6378137m$ $1 / f = 298.257222101$

H

HDOP

Es el DOP referido a mediciones horizontales (latitud, longitud). (Ver PDOP)

Heading

En navegación la dirección corriente en la que uno se está moviendo.

I

IERS = International Earth Rotation Service

El Servicio Internacional de Rotación de la Tierra, establecido conjuntamente por la International Astronomical Union (IAU) y la International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) en 1988, tiene por misión proveer al mundo científico y a la comunidad técnica valores de referencia para los parámetros de orientación de la Tierra (EOP) que surgen al considerar el movimiento del polo y las variaciones de la velocidad de rotación de la Tierra. Para ello contribuyen técnicas espaciales geodésicas entre las que se incluye el GPS.

IGS = International GPS Geodynamics Service

Auspiciado por la Asociación Internacional de Geodesia y basado en un conjunto de más de 200 estaciones de rastreo GPS distribuidas por todo el planeta, tiene por misión proveer productos GPS de alta calidad tales como efemérides precisas, parámetros de rotación de la Tierra, coordenadas y velocidades de las estaciones de rastreo e información de reloj de los satélites. Por otra parte, se ocupa de monitorear las deformaciones de la Tierra sólida, tectónica de placas, el nivel del mar y el estado de la atmósfera.

Intervalo de registro = Logging interval = Recording interval

Es el intervalo de tiempo entre registros sucesivos de datos GPS crudos en la memoria del receptor GPS. Por ej. un intervalo de registro de 10 segundos indica que los datos crudos se guardan en memoria cada 10 segundos.

ITRF = IERS Terrestrial Reference Frame

Marco de referencia terrestre internacional definido, materializado y mantenido por el IERS. Sus coordenadas están relacionadas a un sistema con origen en el centro de masa de la Tierra (incluidos los océanos y la atmósfera) y orientación de sus ejes consistentes con las resoluciones emanadas de la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica (IUGG) y la Unión Astronómica Internacional (IAU). El elipsoide de referencia es el mismo que el del WGS84. En la escritura corriente es acompañado por un número que señala el año al cual corresponden las coordenadas, por ej. ITRF96.

L

Latitud geodésica

Ángulo entre la normal a la superficie del elipsoide que pasa por el punto de interés y el plano del ecuador. Se mide entre 0° y 90° hacia el Norte (+) y el Sur (-) de este último.

Longitud geodésica

Ángulo entre los planos del primer meridiano o meridiano 0 y del meridiano geodésico del punto en cuestión. Usualmente se la trabaja entre 0° y 180° al Este (+) y al Oeste (-) de aquél.

Línea de base

Longitud del vector tridimensional entre un par de estaciones donde se han colectado datos simultáneamente y procesado con técnicas diferenciales.

Log

Palabra inglesa usada para indicar la acción de almacenar datos en un receptor o en una computadora.

Loop Iniciosures = errores de cierre

L1 y L2

Señales radiadas por cada satélite de la constelación GPS. L1 a 1575.42Mhz está modulada con los códigos C/A y P, a los que se le suma el mensaje de navegación. L2 en 1227.60MHz, sólo porta el código P y el mensaje de navegación.

M

Marco de referencia

Materialización de un sistema de referencia a través de un conjunto de estaciones de control fijas, establecidas sobre la superficie terrestre por sus respectivas coordenadas y correspondientes variaciones en el tiempo.

Máscara de elevación = Ángulo de corte

La menor elevación, en grados, a la cual se le permite al receptor rastrear un satélite.

Medida a partir del horizonte se fija en 15° para evitar problemas de interferencia causados por edificios, árboles y errores de multipath.

Máscara de DOP

El valor más alto de PDOP hasta el cual el receptor computará posiciones.

Máscara SNR

La mínima relación señal-ruido a la cual el receptor usará un satélite para determinar posición.

Mediciones GPS de fase

Mediciones GPS basadas en las señales portadoras L1 y L2.

Multicanal

Tipo de receptor continuo, de canales paralelos, dispone de 4, 6, 8 hasta 12 canales, a cada uno de los cuales se le asigna un satélite en particular. Así se miden los retardos en forma simultánea resultando más rápidos y precisos.

Multipath = Multicamino = Multitrayectoria

Es un fenómeno de interferencia causado por señales GPS reflejadas en estructuras o superficies reflectoras las cuales, habiendo recorrido mayor distancia que la correcta, inducen errores de posición.

Multiplexador

Es una clase de receptor que utiliza uno o pocos canales para el seguimiento rápido de varios satélites en tiempo compartido.

N

NAD-83

Datum norteamericano 1983.

NAVSTAR

Acrónimo de *Navigation System with Timing and Ranging* es el nombre de los satélites del sistema GPS.

Nivel de confianza

La estimación estadística de un error tiene un nivel de confianza asociado con él que indica la probabilidad de que el valor verdadero (desconocido) se encuentre dentro de un rango

generado al restar y sumar el error estimado al valor medido. Por ejemplo si una medida de 100,00m tiene un error estándar de 0,01m se puede asegurar con un nivel de confianza del 68% que el valor correcto se encuentra entre 99,99 y 100,01. Igualmente, con un nivel de confianza del 95 %, que el mismo es mayor o igual que 99,98 y menor o igual que 100,02.

O

Ondulación del geoides = separación geoides- elipsoide

Diferencia entre la altura elipsoidal y la altura ortométrica de un punto de la superficie terrestre. Suele también usarse la denominación altura del geoides.

Origen Internacional Convencional

Posición promedio del eje de rotación terrestre durante los años 1900 a 1905.

OTF = On the fly

Técnica de tiempo real que resuelve las ambigüedades de fase sin requerir que el receptor GPS permanezca estacionario.

Outage

Breve período de tiempo durante el cual el GPS no puede ser usado para computar una posición.

P

PDOP

Es el DOP referido a la posición 3D de un punto (latitud, longitud y altura). El mismo está relacionado con los DOP horizontal y vertical a través de: $PDOP^2 = HDOP^2 + VDOP^2$

Portadora

Una onda de radio con frecuencia, amplitud o fase puede ser variada por modulación.

R

RTK = Real-Time Kinematic

Procedimiento GPS cinemático diferencial por el cual las correcciones de fase son transmitidas desde una estación de referencia a un receptor móvil, tan rápido como son colectadas. Requiere radio enlaces entre base y móvil.

Relojes atómicos

Son relojes de altísima precisión, osciladores, basados en el comportamiento de elementos tales como cesio, hidrógeno y rubidio. Los satélites GPS llevan a bordo relojes atómicos que les permiten mantener una escala de tiempo prácticamente perfecta.

Retardo ionosférico

Demora que experimenta una señal GPS al atravesar la ionósfera. El retardo de fase

depende de la densidad de electrones en dicha zona y afecta las portadoras.

Retardo troposférico

Es el error que introduce el paso de la señal por la troposfera. Dicha zona es un medio no dispersivo para las ondas de radio, por lo tanto sus efectos refractivos son independientes de la frecuencia y depende solo de los parámetros meteorológicos y de la longitud del recorrido a través de aquélla.

RINEX

Acónimo de *Receiver Independent Exchange Format* es un conjunto de formatos y definiciones para tiempo, fase y distancia que permite intercambiar y procesar datos provenientes de receptores GPS de diferentes características, marcas y modelos.

RMS = EMC

Rover = Remoto

S

SA = Selective Availability = Disponibilidad Selectiva

Semana GPS

Número de semanas enteras desde que el Tiempo GPS fue cero, medianoche del sábado al domingo del 6 de enero de 1980. Se mide según módulo 1024 por lo que la cuenta se recicló el 22 de agosto de 1999, volviendo la cuenta de las mismas a 0.

SEP = Spherical Error Probable = Error probable esférico

Sesión

Es el conjunto de datos crudos colectados simultáneamente con dos o más receptores durante el curso de un proyecto GPS determinado.

SPS = Standar Position Service

Servicio normal ofrecido por el sistema GPS a los usuarios civiles a través de una sola frecuencia y el código C/A. Con la disponibilidad selectiva activada garantiza un error menor a 100m en una posición horizontal (2D) el 95% de las veces usando la técnica de posicionamiento autónomo.

SNR = Relación señal-ruido

También llamado "nivel de señal", es una medida de cuánto afecta el ruido la fidelidad de la señal GPS y se define como el cociente: *potencia de la señal / potencia del ruido* por lo tanto, más pura será la información cuanto mayor resulte el SNR, así como, en la medida que la razón

decrece, la señal se pierde en el ruido y la medida resulta inexacta.

T

TDOP

DOP correspondiente a la determinación del tiempo.

Tiempo GPS

En el sistema GPS el tiempo es mantenido internamente según una escala continua propia denominada *Tiempo GPS* dado por un reloj compuesto que comprende los relojes de todas las estaciones monitoras en operación y la frecuencia estándar de los satélites. El mismo está referido al Reloj Principal (Master Clock) del Observatorio Naval de los Estados Unidos de Norteamérica (USNO) y adaptado a las fracciones del Tiempo Universal Coordinado con un grado de coincidencia básica del orden de algunas centenas de nanosegundos, pero como el tiempo GPS no es corregido con los "leap seconds" la diferencia con el UTC va incrementándose paulatinamente, aunque ambos sean atómicos.

Triple diferencia

Diferencia de dobles diferencias de observaciones de fase. Las triples diferencias cancelan la ambigüedad y son útiles para detectar cielos perdidos.

U

UERE

Ácrono de *User Equivalent Range Error* es el efecto combinado de la indeterminación de las efemérides, errores de propagación, errores de reloj y tiempo y ruido del receptor, proyectado sobre la línea observador-satélite.

URA

Es una predicción del máximo UERE total (menos el error ionosférico) que trasmite el mensaje de navegación de cada satélite.

UTC

El Tiempo Universal Coordinado es un tiempo atómico notablemente exacto y estable que mediante la inserción de saltos de un segundo (leap second) se mantiene muy próximo al tiempo universal corregido de las variaciones estacionales de la rotación terrestre.

V

VDOP

DOP para el posicionamiento vertical. (Ver PDOP)

W

Waypoint

Un waypoint es un par de coordenadas, latitud y longitud, o norte y este, con un nombre y número asignado, que representa un punto geográfico de interés.

WGS 84 = World Geodetic System 1984

Es el sistema mundial de uso más extendido. Definido y mantenido por la Defense Mapping Agency (DMA) de los Estados Unidos, es el datum al cual se relaciona toda la información del posicionamiento GPS por utilizarlo justamente para sus mensajes de navegación. La materialización del mismo es un catálogo de coordenadas de más de 1500 estaciones geodésicas distribuidas por todo el mundo.

WGS84 está determinado por un conjunto de parámetros primarios y secundarios. Los primeros para definir: dimensiones, forma, velocidad angular y masa de la Tierra. Los segundos detallan un modelo gravitatorio terrestre y son necesarios para describir las órbitas satelitales. La DMA ha mejorado la definición original recalculando en dos ocasiones, 1994 y 1996, las coordenadas de las estaciones de rastreo GPS. En la última oportunidad se determinó el actual sistema de referencia designado como WGS84 (G873) vigente desde el 29 de enero de 1997, consistente con el ITRF94 a nivel de unos pocos cm.

WGS72

Predecesor del WGS 84. Usado hasta 1986 sus parámetros eran: $a = 6378135m$ $1/f = 298.26$

Y code

Código P encriptado. (Ver A5).

ANEXO 2
CARACTERÍSTICAS Y ERRORES DE LA SEÑAL DEL SISTEMA GPS

Las Pseudodistancias.

La pseudodistancia es el resultado de multiplicar la velocidad de la señal radiodifundida desde el satélite (la de la luz) no por el tiempo de viaje que le lleva ir desde el satélite al receptor puesto que de hacerlo así nos daría la distancia satélite-receptor, sino por el desplazamiento temporal necesario para correlacionar una réplica de la señal (código) generada por el receptor con la recibida del satélite. Repito que este desplazamiento temporal no es el tiempo de viaje de la señal, ya que, aunque sabemos el momento de la emisión en el satélite (el estado y marcha del reloj vienen en el mensaje de navegación que viene con la señal) desconocemos el estado del reloj del receptor ya que éste último no es un reloj atómico como el de los satélites.

Supongamos que nuestro GPS, por un lado, y el satélite, por otro, generan una señal en el mismo instante exacto. Supongamos también que nosotros, parados al lado de nuestro receptor de GPS, podemos "oír" ambas señales. Oíríamos dos versiones de la señal. Una de ellas inmediatamente, la generada por nuestro receptor GPS y la otra con cierto atraso, la proveniente del satélite, porque tuvo que recorrer alrededor de 20.000 Km. para llegar hasta nosotros. Si quisiéramos saber cual es la magnitud de la demora de la señal proveniente del satélite podemos retardar la emisión de la señal de nuestro GPS hasta lograr la perfecta sincronización con la señal que viene del satélite.

La señal emitida por nuestro GPS y por el satélite es algo llamado "Ruido Pseudo Aleatorio" (PRN, Pseudo Random Noise). La señal es tan complicada que casi parece un ruido eléctrico generado por el azar. De allí su denominación de "Pseudo-Aleatorio". Hay varias y muy buenas razones para tal complejidad. La complejidad del código ayuda a asegurarnos que el receptor de GPS no se sintonice accidentalmente con alguna otra señal. Siendo el modelo tan complejo, es altamente improbable que una señal cualquiera pueda tener exactamente la misma secuencia.

Dado que cada uno de los satélites tiene su propio y único Ruido Pseudo Aleatorio, esta complejidad también garantiza que el receptor no se confunda accidentalmente de satélite. De esa manera, también es posible que todos los satélites transmitan en la misma frecuencia sin interferirse mutuamente. Esto también complica a cualquiera que intente interferir el sistema desde el exterior al mismo. El Ruido Pseudo Aleatorio le da la posibilidad al Departamento de Defensa de EEUU de controlar el acceso al sistema GPS. Pero hay otra razón para la complejidad del Ruido Pseudo Aleatorio, una razón que es crucial para conseguir un sistema GPS económico.

El código permite el uso de la "teoría de la información" para amplificar las señales de GPS. Por esa razón las débiles señales emitidas por los satélites pueden ser captadas por los receptores de GPS sin el uso de grandes antenas.

Quando comenzamos a explicar el mecanismo de emisión de las señales por el receptor GPS y el satélite, asumimos que ambos comenzaban la emisión de la señal exactamente al mismo tiempo. ¿Pero cómo podemos asegurarnos que todo esté perfectamente sincronizado?

Si la medición del tiempo de viaje de una señal de radio es clave para el GPS, los relojes que empleamos deben ser muy exactos, dado que si miden con un desvío de una milésima de segundo, a la velocidad de la luz, ello se traduce en un error de 1300 Km.!

Por el lado de los satélites, la sincronía es casi perfecta porque llevan a bordo relojes atómicos de increíble precisión. ¿Pero que pasa con nuestros receptores GPS, aquí en la tierra? Recordemos que ambos, el satélite y el receptor GPS, deben ser capaces de sincronizar sus códigos para que el sistema funcione. Si nuestros receptores GPS tuvieran que alojar relojes atómicos la tecnología resultaría demasiado costosa y nadie podría acceder a ellos. Por suerte los diseñadores del sistema GPS encontraron una brillante solución que nos permite resolver el problema con relojes mucho menos precisos en nuestros GPS. Esta solución es uno de los elementos clave del sistema GPS y, como beneficio adicional, significa que cada receptor GPS es en esencia un reloj atómico por su precisión.

Resulta que si tres mediciones perfectamente sincronizadas pueden posicionar un punto en un espacio tridimensional, cuatro mediciones no sincronizadas pueden lograr lo mismo.

Veamos un ejemplo en dos dimensiones. En este caso, necesitamos tres satélites para resolver las tres incógnitas (X, Y, Tiempo). Supongamos que en la realidad nuestra posición es 4 segundos al satélite A

Características y Errores de la Señal del Sistema GPS

y 6 segundos al satélite B, estos dos alcances se cruzan y la intersección es nuestra posición (recuerda que estamos trabajando sólo en dos dimensiones). Una de las dos intersecciones (X) se rechazará debido a que será una solución absurda (estará muy alejada de donde realmente estamos o se mueve rapidísimamente).

El punto X será dónde estamos realmente, que sería lo que nuestro receptor nos indicaría si tuviese un reloj perfecto. Pero si el reloj de nuestro receptor está un segundo retrasado con relación al tiempo GPS, digamos por ejemplo que la distancia al satélite A es de 5 segundos en lugar de 4 y que la distancia al satélite B es de 7 segundos. Esto causa que los círculos intersequen en un punto diferente (XX). La diferencia entre X y XX es el error que ha causado nuestro reloj imperfecto.

Si hacemos otra medida de un tercer satélite, todas las medidas coincidirían en el punto X que es nuestra verdadera situación si nuestro reloj estuviera sincronizado con los del satélite. Pero con un retraso del reloj, la situación es diferente. Los círculos en línea gruesa de la siguiente figura muestran las pseudodistancias causadas por nuestro error del reloj.

Mientras las pseudodistancias de los satélites A y B intersecan en el punto XX la pseudodistancia del satélite C no puede atravesar este punto. Esta discrepancia alerta al ordenador del satélite de que hay un error de reloj. Puesto que dicho error tiene la misma cantidad respecto a todos los satélites (como los relojes de los satélites sí están sincronizados, si nuestro error es de un segundo respecto a uno de los satélites será un segundo respecto al resto), el ordenador busca un factor de corrección simple que permita a todas las medidas intersecar en único punto. En nuestro ejemplo descubrirá que restando un segundo a cada medida haría que todos intersecaran en un punto. Con este factor de corrección determinado, el receptor puede aplicar la corrección a todas las medidas de entonces en adelante. Y por ello, a partir de ese momento estará sincronizado con los satélites. Naturalmente este proceso de corrección tendrá que ser repetido constantemente para asegurarse que los relojes de los receptores permanecen sincronizados.

Una vez que el receptor de GPS aplica dicha corrección al resto de sus mediciones, obtenemos un posicionamiento preciso. Ahora bien, con el Ruido Pseudo Aleatorio como un pulso fiable para asegurar la medición correcta del tiempo de la señal y la medición adicional como elemento de sincronización con la hora universal, tenemos todo lo necesario para medir nuestra distancia a un satélite en el espacio.

Pero, para que la triangulación funcione necesitamos conocer no sólo la distancia sino que debemos conocer dónde están los satélites con toda exactitud. La altura de 20.000 Km. es en realidad un gran beneficio para este caso, porque algo que está a esa altura está bien despejado de la atmósfera. Eso significa que su órbita será regular y predecible mediante ecuaciones matemáticas sencillas. La Fuerza Aérea de los EEUU colocó cada satélite de GPS en una órbita muy precisa, de acuerdo al Plan Maestro de GPS. En tierra, todos los receptores de GPS tienen un almanaque programado en sus computadoras que les informan donde está cada satélite en el espacio, en cada momento. Las órbitas básicas son muy exactas pero con el fin de mantenerlas así, los satélites de GPS son seguidos de manera constante por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos.

Ellos utilizan radares muy precisos para controlar constantemente la exacta altura, posición y velocidad de cada satélite. Los errores que ellos controlan son los llamados errores de efemérides, o sea evolución orbital de los satélites. Estos errores se generan por influencias gravitatorias del sol y de la luna y por la presión de la radiación solar sobre los satélites. Estos errores son generalmente muy útiles pero si queremos una gran exactitud debemos tenerlos en cuenta.

Una vez que el Departamento de Defensa ha medido la posición exacta de un satélite, vuelven a enviar dicha información al propio satélite. De esa manera el satélite incluye su nueva posición corregida en la información que transmite a través de sus señales a los GPS.

La Medida de fase.

Usar la frecuencia de portadora del GPS puede mejorar significativamente la precisión de GPS. El concepto es simple pero para entenderlo vamos a revisar unos pocos principios básicos de GPS.

El receptor desplaza su código retrasándolo en el tiempo hasta que se sincroniza con el código del satélite. La cantidad que tiene que desplazar el código es igual al tiempo de viaje de la señal. El problema es que los bits (o ciclos) del código son tan anchos que incluso si se consigue sincronizar, hay todavía muchas desviaciones.

Si compara las señales, lógicamente coincidirán (cuando la señal del satélite es uno, la señal del receptor es uno). Pero puede verse que mientras que coinciden hay un pequeño desfase. Observe que la señal del satélite está un poco adelantada respecto a la señal del receptor. De hecho, se puede desplazar la señal del satélite casi medio ciclo adelante y las señales aún coincidirán.

Este es el problema con GPS de código. Comparando los códigos hay un ancho de ciclo de casi un microsegundo, y a la velocidad de la luz un microsegundo son casi 300 metros de error.

En el caso de medida de fase, se compara la fase de la señal generada por el receptor con la fase de la señal recibida del satélite. El observable es el desfase entre ambas señales. Pero, ¿cómo saber la distancia satélite-receptor a partir de dicho desfase? La señal del satélite habrá recorrido dicha distancia siendo igual a un número entero de longitudes de onda de la señal (término llamado ambigüedad) más el desfase entre ambas señales. Este desfase varía entre 0° y 360° . Cuando va creciendo y llega a 360° la ambigüedad aumenta en un entero y el desfase pasa a ser 0° .

Lo más difícil de determinar con este método es el valor de la ambigüedad, lo cual se realiza en el proceso de cálculo junto con la resolución del estado de los relojes y las tres coordenadas del receptor. Es la cuenta de la ambigüedad el punto débil del método, ya que una pérdida de dicha cuenta (paso de un avión, ocultación de la señal por una antena, un árbol, etc.) obliga a comenzar de nuevo los cálculos, aunque en el cálculo posterior y por ajuste polinómico es posible restaurar la ambigüedad en algunos casos.

Vemos que este método es más preciso que el anterior, pero para sacar todo el potencial a este método se requiere una forma de trabajo diferente. Esta forma de trabajo se refiere al empleo de dos receptores, lo que se conoce como trabajar "en relativo".

Para resolver nuestras incógnitas (ambigüedad, estado de los relojes de los dos receptores y coordenadas de uno de los receptores) se emplean determinados algoritmos de cálculo:

Para eliminar los errores del reloj del satélite se usa la recepción por ambos receptores (A y B) a un solo satélite (j) en un instante dado (diferencias simples).

Para eliminar o minimizar los errores de los relojes de los satélites y receptores, indeterminación de órbitas y otras fuentes de error similares para ambos receptores se emplea la recepción por ambos receptores (A y B) a dos satélites (j y k) en un instante dado (diferencias dobles).

Si con ambos receptores usamos las observaciones a dos satélites en dos momentos dados además de minimizar los errores anteriores, se elimina el término de ambigüedad (diferencias triples). Este algoritmo tiene el inconveniente del uso de muchos cálculos, por lo que se suele usar para resolver el término de la ambigüedad para posteriormente usar las diferencias dobles.

Bloques que constituyen la constelación NAVSTAR.

Los satélites del bloque I, experimental, fueron diseñados por Rockwell International. Estos satélites se hicieron para proporcionar de 3 a 4 días el servicio de posicionamiento sin contacto con el Segmento de Control del sistema. Estos satélites fueron lanzados desde la base de Vandenberg en California entre los años 1978 y 1985 utilizando cohetes Atlas. Pesaban más de 400 Kg en el momento de la inserción en órbita de servicio y tenían paneles solares con 400 vatios de potencia. De los diez satélites que lo componían, 4 llevaban oscilador de cuarzo, 3 con reloj atómico de rubidio y 3 con reloj atómico de cesio. Estos satélites no podían degradar la señal de manera intencionada (Disponibilidad selectiva y Anti-spoofing).

El bloque II es el primer bloque de satélites operativos desarrollados por Rockwell International. Han sido diseñados para proporcionar 14 días de servicio de posicionamiento sin contacto con el Segmento de Control. La señal de navegación no proporciona una indicación directa acerca del tipo de satélite que transmite (bloque II, bloque IIA o bloque IIR). Para ponerlos en órbita se emplearon vehículos transbordadores espaciales del tipo Space Shuttle. Con este sistema se ponían en órbita tres satélites en

Características y Errores de la Señal del Sistema GPS

cada viaje. Debido al accidente del Challenger se empezaron a lanzar con el cohete Delta 2 de McDonnell Douglas, desde la base estadounidense de Cabo Cañaveral, en Florida, con intervalos entre lanzamientos de 60 a 90 días. Los satélites de bloque II pesan unos 800 Kg algunos incluso más al estar provistos de detectores de explosiones nucleares. Llevan dos paneles solares de 7,2 metros cuadrados y 700 vatios de potencia. Todos incorporan osciladores atómicos.

El bloque IIA es una versión evolucionada del bloque II, desarrollado igualmente por Rockwell International. Han sido diseñados para proporcionar 180 días de servicio de posicionamiento sin contacto con el Segmento de Control. El 26 de noviembre de 1990 se lanzó el primer satélite del bloque IIA, prácticamente con las mismas características que los satélites del bloque II pero más pesado (930 Kg). Estos satélites incorporan mayor ayuda para la navegación, varias mejoras de producción y una superior vida útil. También se inauguró un nuevo tipo de cohete más potente para lanzarlo: El Delta 2 7925. Por desgracia, problemas en la orientación automática de sus paneles solares (orientables manualmente desde el control de tierra) motivaron la suspensión de nuevos lanzamientos hasta mediados de 1991 y la revisión de los satélites de esta serie pendientes de lanzamiento.

Los satélites del bloque IIR sustituyen a los denominados en el proyecto inicial bloque III. El bloque IIR fue desarrollado por General Electric. Estos satélites proporcionan servicio de posicionamiento durante al menos 14 días sin contacto con el Segmento de Control si éstos operan en el modo propio del bloque IIA, y proporcionarán un mínimo de 180 días de servicio de posicionamiento sin contacto con el Segmento de Control cuando operan en el modo de navegación autónomo (Autonav mode).

Frecuencias portadoras

La obtención de la longitud de onda de cada una de las frecuencias es inmediata, ya que la velocidad de desplazamiento de una onda electromagnética es la velocidad de la luz, igual a la frecuencia por la longitud de onda, luego la longitud de onda en la velocidad de la luz entre la frecuencia.

$$c = \lambda \times v \Rightarrow \lambda = \frac{c}{v} \begin{cases} L1 \rightarrow \lambda_{L1} = \frac{299792458 \text{ m/s}}{1575420000 \text{ ciclos/s}} = 19.03 \text{ cm.} \\ L2 \rightarrow \lambda_{L2} = \frac{299792458 \text{ m/s}}{1227600000 \text{ ciclos/s}} = 24.42 \text{ cm.} \end{cases}$$

En la señal portadora L1 se modula los dos códigos pseudo-aleatorios (C/A y P) y el mensaje de navegación, mientras que en la L2 se modula exclusivamente el código P. El uso de dos frecuencias permite determinar el retardo ionosférico puesto que dicho retardo es inversamente proporcional al cuadrado de la frecuencia. Así, los receptores que trabajan con L1 y L2 pueden eliminar tal retardo al poder calcularlo. Los receptores que sólo trabajan en L1 usan un algoritmo de corrección enviado en el mensaje de navegación, corrigiéndose este sólo un 50 %.

Código.

Las diferencias fundamentales entre el código C/A y el P (además de que el código P está normalmente encriptado dando lugar al código Y, que sólo es accesible a usuarios autorizados) radican en su frecuencia y en su longitud. Mientras el código C/A tiene una frecuencia 1.023 MHz (la décima parte de la fundamental) y una longitud de 1023 chips, lo que quiere decir que se repite cada segundo, el código P tiene una frecuencia de 10.23 MHz (igual que la fundamental) y una longitud de 2.3547×10^{14} chips, repitiéndose cada 266.4 días aproximadamente. La longitud del código P se reparte en 37 segmentos de una semana cada uno, y se asigna a cada satélite que queda de esta manera identificado. En el mensaje de navegación aparece una serie de bits llamada palabra HOW (Hand Over Word) que permite acceder a

Características y Errores de la Señal del Sistema GPS

dicho código al determinar en qué parte se está emitiendo. El código C/A se modula sobre la portadora L1 mientras que el P se modula sobre L1 y L2.

Para generar el código C/A se usan dos Shift Register (SR) de 10 bits denominados G1 y G2 que son un conjunto ordenado de ceros y unos de forma que generan una secuencia continua de valores binarios. El estado inicial de todos los bits de los Shift Register G1 y G2 es 1. Para que el Shift Register se realimente a sí mismo, el bit generado en el bit número 10 además de pertenecer a la secuencia generada, pasa al bit número 1 volviéndose a realizar las operaciones que dan lugar a la secuencia de ceros y unos.

La operación que se realiza es la operación lógica asociativa *or exclusive* conocida por las siglas XOR y por el símbolo \oplus cuyo resultado es 0 si los dos bits son iguales y 1 si éstos son diferentes. Esta operación se realiza de dos en dos bits, es decir, podemos aplicar esta operación a más de dos bits, sin embargo, para que salga correctamente, debemos agrupar los bits de dos en dos y que estén de forma consecutiva. Esta explicación queda más clara con varios ejemplos: $0\oplus 1=1$; $0\oplus 0=0$; $1\oplus 1=0$; $1\oplus 0=1$; $1\oplus 1\oplus 1=1$; $1\oplus 1\oplus 1\oplus 1=0$.

Como ya hemos dicho, el código C/A se obtiene a partir de dos Shift Register llamados G1 y G2. En el G1 se aplica la operación XOR con los bits 3 y 10 dando lugar a un bit llamado básico que se obtiene del bit número 10 en cada aplicación de la operación XOR. Con el G2 se usan 2 bits dando lugar a un bit llamado típico. Con la aplicación de nuevo de la operación XOR entre los bits típico y básico se va generando el código C/A. El bit básico es igual para todos los satélites, sin embargo, el bit típico que se obtiene del Shift Register G2 es diferente para cada satélite ya que se escogen un par de bits diferentes para cada satélite, de esta manera se puede determinar de qué satélite proviene el código C/A recibido por el receptor.

Para el caso del código P, el razonamiento es idéntico, salvo que en este último caso se emplean cuatro Shift Register, que, combinados dos a dos generan dos códigos intermedios a los que se vuelve a aplicar la operación XOR entre ellos.

Fase portadora.

Como ya comentamos en el apartado II.3.3, el método de medidas de fase es el que permite obtener mayor precisión. Su fundamento es el siguiente: partiendo de una frecuencia de referencia obtenida del oscilador que controla el receptor, se compara con la portadora modulada que se ha conseguido tras la correlación, controlándose así, en fase, la emisión radioeléctrica realizada desde el satélite con frecuencia y posición conocidas. Cuando esta emisión llega a la antena, su recorrido corresponde a un número entero de longitudes de onda (denominado N o ambigüedad) mas una cierta parte de longitud de onda cuyo observable (o momento exacto de recepción por parte de la antena) puede variar entre 0 y 360° . Tenemos pues, una frecuencia y cierta parte de la longitud de onda conocidas, y la ambigüedad (Número entero de las longitudes de onda) por conocer. La resolución de la ambigüedad se realiza en base a un extenso proceso de cálculo, que además nos resolverá el estado de los relojes y por supuesto los incrementos de coordenadas entre estaciones. Una vez obtenidos dichos valores, la resolución interna que nos proporcione el sistema, será de orden sub milimétrico, aunque diversas fuentes de error limiten la precisión operativa a algún centímetro o incluso menos, siempre en función de las técnicas de observación empleadas. Debe destacarse que es fundamental en el sistema no perder el seguimiento de la fase para que la ambigüedad inicial no pueda variar. Si hay alguna pérdida de recepción por cualquier causa, la cuenta de ciclos se rompe (Cycle Slip), perdiendo este método toda su eficacia. Esta pérdida de ciclos puede ocurrir por muchas causas desde el paso de un avión, disturbios ionosféricos, u obstrucciones físicas importantes (edificios, etc.). Podremos comprender, entonces, la dificultad de trabajar en zonas próximas a arbolados, tendidos eléctricos, torres, edificios, etc., limitando las aplicaciones de éste método en tiempo real.

En este caso, disponer de los códigos C/A y P es un estorbo. Para obtener la señal portadora "limpia" de la modulación de los códigos lo que se hace es multiplicar la señal por ella misma, proceso denominado "cuadratura".

La modulación se realiza en el satélite multiplicando la señal por +1 ó -1 en función del cambio de valor de un bit en un código o en el mensaje de navegación. Al multiplicar la señal por sí misma, ésta pasa de

Características y Errores de la Señal del Sistema GPS

estar comprendida entre -1 y $+1$ a estar comprendida entre 0 y $+1$, obteniendo en este caso una amplitud igual a la mitad de la amplitud original y una frecuencia igual al doble de la frecuencia original.

Si la señal viene dada por la fórmula:

$$y = A \times \cos(\omega t)$$

y al multiplicarla por sí misma:

$$y' = A^2 \times \cos^2(\omega t)$$

basándose en las propiedades trigonométricas del ángulo mitad y sustituyendo ωt donde pone α :

$$\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \sqrt{\frac{\cos(\alpha) + 1}{2}} \Rightarrow \cos(\alpha) = \sqrt{\frac{\cos(2\alpha) + 1}{2}} \Rightarrow \cos^2(\alpha) = \frac{\cos(2\alpha) + 1}{2}$$

siendo la fórmula que define la nueva señal:

$$y' = A^2 \times \frac{\cos(2\omega t) + 1}{2}$$

Un inconveniente del proceso de cuadratura es que la relación señal/ruido empeora al ser la señal menor que el ruido. Debemos tener en cuenta que la relación señal/ruido suele andar en torno a los valores de 40 a 45, siendo desechadas todas las medidas cuyo valor de señal/ruido sea inferior a 30.

A pesar de que el método de medición de fase de portadora es más preciso que el de pseudodistancias, debido a su complejidad se comienza la medición mediante el uso de código para obtener una pseudodistancia que permita aproximarse al valor de la ambigüedad para pasar posteriormente a la medición de fase de portadora y finalmente calcular el valor exacto de la ambigüedad.

La Disponibilidad Selectiva (SA, Selective Availability en inglés) era, como se verá en el capítulo V sobre los errores de las medidas GPS, la mayor causa de error en el posicionamiento. Los diseñadores del sistema GPS esperaban obtener precisiones de 20 m en tiempo real. Esta precisión se conseguía ya con el posicionamiento estándar por usuarios civiles, lo que preocupó a los militares por posibles ataques a los Estados Unidos. La SA se activó por primera vez el 25 de marzo de 1990 sin avisar, sin embargo, sí se avisó, incluso desde la Casa Blanca, cuando se desactivó el 2 de mayo de 2000.

Con la SA activada las precisiones horizontales absolutas rondaban los 120 m el 95% del tiempo. La disponibilidad selectiva consistía en modificar en el mensaje de navegación la información correspondiente al estado de los relojes de los satélites y sus parámetros orbitales. Como es lógico, los usuarios autorizados disponían de la clave para descryptar el mensaje de navegación modificado y obtener los correctos parámetros y los estados de los relojes reales.

Mensaje de navegación

El mensaje de navegación está formado por 25 grupos de 1500 bits cada uno. Cada grupo está formado por 5 celdas, cada celda está formada por 10 palabras y cada palabra por 30 bits. A una velocidad de transmisión de 50 bps (bits per second) el mensaje de navegación se emite continuamente, aunque para recibirlo completo sólo son necesarios 12 minutos y medio.

De las 5 celdas que compone cada grupo, sólo las celdas 4 y 5 son diferentes en cada grupo. Las celdas 1, 2 y 3 de un grupo son iguales a las celdas 1, 2 y 3 de otro grupo cualquiera. La celda 1 contiene los coeficientes polinómicos que permiten obtener el tiempo GPS, el estado de los satélites, la antigüedad de las correcciones radiodifundidas (AODC, Age of Data Clock) así como un modelo ionosférico. Las celdas 2 y 3 contienen las efemérides que permiten obtener la posición del satélite en un instante dado dentro de su órbita y la vigencia de los datos del almanaque (AODE, Age Of Data Ephemerides). La celda 4 contiene un modelo ionosférico, información sobre el Anti-Spoofing (encriptación del código P),

Características y Errores de la Señal del Sistema GPS

información sobre el UTC, el almanaque y el estado de los relojes de los satélites que sobrepasen la constelación de 24 satélites o incluso que no pertenezcan a la constelación GPS pero que emitan señales GPS como por ejemplo unas antenas que emitan señales GPS conocidas como seudolitos. Y finalmente, la celda 5 contiene el almanaque y el estado del reloj de los satélites 1 a 24 de la constelación GPS. Las efemérides consisten en la determinación precisa de la posición del satélite por medio de 18 parámetros, mientras que el almanaque consiste en una definición aproximada de la posición del satélite mediante 6 parámetros con el propósito de poder estimar la posición del satélite a fin de planificar el instante y duración de la observación.

Como hemos dicho, las celdas 1, 2 y 3 son iguales con independencia del grupo al que pertenezcan, no así las celdas 4 y 5, que son distintas en cada uno de los 25 grupos. Para distinguir a qué grupo pertenece una celda 4 ó 5, se suele decir que el conjunto de las 25 celdas 4 y las 25 celdas 5 están divididos en 25 páginas, es decir, la celda 4 del grupo 1 se denomina página 1 de la celda 4, a la del grupo 2, página 2 de la celda 4, y así sucesivamente, siguiendo el mismo criterio para la celda 5.

De las 10 palabras que componen cada celda, las dos primeras son siempre la palabra TLM (Telemetry) y la palabra HOW (Hand Over Word) por ese orden. La "TLM" avisa cuando se está introduciendo información en el satélite o si sufre alguna manipulación. La "HOW" da acceso al código P a los usuarios autorizados.

Con independencia del grupo que se esté transmitiendo a las 0 h del domingo, el mensaje de navegación comienza a emitirse desde el principio en dicho momento, es decir, la celda 1 del grupo 1.

Efecto "contador de semana" o ciclo de 1024 semanas

Cada domingo a las 0 h. Un registro llamado TOW (Time of Week) a bordo de los satélites se pone a 0 y se va incrementando cada 1.5 segundos hasta alcanzar un valor de 403199 al cabo de una semana. Para representar dicho valor se usan 19 bits lo que permitirían $2^{19}=524288$ posibilidades. Una vez determinado el momento de la semana en el que nos encontramos, necesitamos saber en qué semana nos encontramos. En la celda 1 se refleja el número de semana GPS, de los 300 bits de la celda, 10 bits se dedican a definir la semana GPS. La combinación de 19 bits más 10 bits conforman el registro llamado "Z-count". Dos elementos tomados de 10 en 10 permiten 2^{10} posibilidades, es decir, 1024 posibilidades o semanas GPS. Esto quiere decir, que una vez se complete el ciclo de 1024 semanas, el contador se vuelve a poner a 0. Como el inicio del ciclo se produjo a las 0 h del 6 de enero de 1980, el ciclo de 1024 semanas acabó la medianoche del 21 al 22 de agosto de 1999 momento en el que el valor de semana GPS pasó del valor 111111111 (1023) al valor 000000000 (0 ó 1024). Según algunos fabricantes, existen algunos receptores GPS, especialmente los comprados antes de 1995, que podrían dejar de funcionar o funcionar incorrectamente a partir de tal fecha. Aquellos receptores cuyo funcionamiento no se verá afectado se dice que son receptores "EOW compliant", (End of Week, EOW).

Pasada la fatídica fecha, no se ha tenido conocimiento de fallos graves en los receptores GPS. Este "defecto" recuerda mucho al célebre "Efecto 2000" que también se podía aplicar a los receptores GPS y que finalmente no ha tenido las consecuencias que se esperaban (afortunadamente, ya que se esperaba prácticamente la destrucción del planeta) por dicho fallo informático. Tanto en un caso como en el otros, queda cierta sospecha a que todo se trató de un truco de los fabricantes para fomentar la actualización de los equipos.

Por curiosidad, los próximos ciclos de semana GPS serán del 6 al 7 de abril de 2019, el siguiente del 20 al 21 de noviembre de 2038 y así sucesivamente, añadiendo 7167 días julianos.

ERRORES.

Errores relativos al satélite.

Error del reloj del satélite: Este error es el desfase que tiene el reloj del satélite respecto al Tiempo GPS. Los satélites llevan relojes atómicos con osciladores de cesio o de rubidio, sin embargo ningún reloj, incluso el atómico es perfecto. Los errores en los osciladores de los satélites pueden eliminarse mediante

Características y Errores de la Señal del Sistema GPS

las correcciones enviadas en el mensaje de navegación que recibe el receptor, y que son calculadas y actualizadas por las estaciones de seguimiento. Para cada reloj de satélite se determina su desfase para una época inicial, y los coeficientes de la marcha o deriva del estado del reloj. Estos parámetros se graban en el correspondiente satélite y se incluyen en el mensaje de navegación que manda el satélite. Pero aunque el receptor aplique las correcciones para el error del reloj del satélite, sigue permaneciendo un pequeño error residual estimado en unos 10 nanosegundos o menos, y que es debido a la imposibilidad de predecir exactamente la marcha del estado del reloj del satélite.

Errores en los parámetros orbitales: Para calcular su posición, el receptor debe conocer las posiciones de los satélites. Las estaciones de seguimiento registran datos de pseudodistancia y medidas de fase que mandan a la Estación de Control principal, donde con un sofisticado software se predicen las futuras posiciones orbitales de los satélites, es decir sus efemérides. Éstas son transmitidas en el mensaje de navegación del satélite. Pero las efemérides transmitidas por los satélites tendrán asociado un error a causa de que es imposible predecir exactamente sus posiciones. El efecto del error de las efemérides transmitidas en la medida de la pseudodistancia se obtiene proyectando el vector error de la posición del satélite sobre el vector que une el satélite y el receptor. Los errores en los parámetros orbitales se pueden eliminar trabajando con las efemérides precisas de los días de observación, donde aparecen las verdaderas posiciones de los satélites. Para líneas base cortas, trabajando en modo relativo con dos receptores, respecto a los mismos satélites de observación, podemos eliminar todos los errores relativos a los satélites, ya que afectan de igual forma a ambos receptores. Para líneas base largas, el error del reloj del satélite se elimina igual, ya que es independiente de la línea base e igual en ambos puntos, pero los errores en los parámetros orbitales no se eliminan del todo, porque los errores que provocan en la pseudodistancia a un satélite en un punto no son los mismos que los que se producen en el otro punto para el mismo satélite e instante. Existen varios organismos que proveen las efemérides precisas de los satélites GPS con un retraso de dos semanas a través de Internet. Por ejemplo en la página web del IGS.

Errores relativos a la propagación de la señal.

Refracción ionosférica: La Ionosfera es aquella región de la atmósfera comprendida entre 100 y 1000 Km. de altitud, donde las radiaciones solares y otras radiaciones ionizan una porción de las moléculas gaseosas liberando electrones, que interfieren en la propagación de ondas de radio. La Ionosfera es un medio disperso para ondas de radio, por lo tanto su índice de refracción es función de la frecuencia de la onda. También es función de la densidad de electrones, y en menor grado, de la intensidad del campo magnético de la tierra. Este error es negativo para la medida de fase (se produce un avance de la portadora y se miden distancias más pequeñas), y positivo para las pseudodistancias (se produce un retardo y se miden distancias más largas), pero tienen el mismo valor absoluto. El error es proporcional a la densidad de electrones (TEC-Total Electron Content) a lo largo del camino seguido por la señal, y está en función del cuadrado de la longitud de la onda (inversamente proporcional al cuadrado de la frecuencia de la portadora). Este error varía espacial y temporalmente, es decir, para cada punto según su latitud y longitud, y momento de la observación. Se pueden utilizar modelos ionosféricos, como el de Klobuchar (1986) que establecen la distribución del TEC, pero estas concentraciones de electrones son irregulares y poco predecibles, por lo que cualquier modelo ionosférico es sólo una aproximación. El TEC es función del cambio constante en la ionización solar, de la actividad magnética, de los ciclos de las manchas solares, hora del día, lugar de observación, y dirección del camino de la señal. Debido a la dificultad de encontrar un modelo satisfactorio, se emplea un método más eficiente para eliminar la refracción ionosférica que es la utilización de dos señales con diferentes frecuencias. Como el retardo depende de la longitud de la onda, será distinto para cada frecuencia y podremos observar un retardo diferencial entre ambas, que será mayor cuanto mayor sea el retardo ionosférico sufrido, siendo por tanto este deducible. Si sólo se registran medidas en una sola frecuencia, tanto en pseudodistancias como en medida de fase, entonces se tiene que emplear un procedimiento alternativo para eliminar el efecto ionosférico. Normalmente se usan modelos empíricos para corregir el efecto, en los que se modela el TEC en función del tiempo, lugar de

observación y dirección de la señal. En el mensaje de navegación se incluyen unos parámetros para tal modelo. Usando este modelo se pueden llegar a reducir en un 50% los efectos de la Ionosfera. El retardo ionosférico depende del ángulo de elevación del satélite, siendo menor en el cenit, y mayor cuando disminuye el ángulo de elevación. En observaciones nocturnas, los niveles de TEC son menores que durante el día, lo que implica un menor error.

Refracción troposférica: La Troposfera es la última zona o capa de la atmósfera (hasta unos 80 Km., pero sólo en los últimos 40 se producen retardos significativos), donde se produce retardo y donde las temperaturas decrecen con el incremento de altura. El espesor de la Troposfera no es el mismo en todas las zonas. La presencia de átomos y moléculas neutros en la Troposfera afecta a las señales de propagación electromagnética. El índice de refracción para un área parcial es función de su temperatura, de la presión de los gases secos y del vapor de agua. Esta atmósfera neutra es un medio no disperso con respecto a las ondas de radio de frecuencias superiores a 15 GHz, por lo tanto, la propagación es independiente de la frecuencia. Consecuentemente, no es necesario distinguir entre medidas de código y fase sobre las portadoras L1 y L2. La desventaja está en que no es posible eliminar la refracción troposférica con medidas en las dos frecuencias. Se puede mejorar el cálculo del retardo troposférico tomando datos meteorológicos (presión, temperatura seca y húmeda) en el lugar de observación. A diferencia de la componente seca, la componente húmeda varía espacialmente y temporalmente. La componente seca es la causante de un 90% del total del retardo y puede ser obtenido con precisión de algunos milímetros a partir de medidas de presión en superficie. La componente húmeda es función del vapor de agua a lo largo del camino de la señal. El gradiente térmico admite modelación con precisión aceptable, pero el principal problema está en la forma de modelar el vapor de agua, que tiene una distribución irregular. El simple uso de medidas meteorológicas en superficie no puede dar la precisión alcanzable con los radiómetros de vapor de agua. Estos instrumentos miden la radiación basal que se recibe desde el espacio en la dirección de la observación, y son capaces de medir el contenido de vapor de agua en la atmósfera. El efecto del *retardo ionosférico y el troposférico* debido al vapor de agua sobre las emisiones de la banda radioeléctrica es menor cuanto mayor sea la frecuencia, o cuanto menor sea la longitud de la onda. La refracción ionosférica y troposférica puede ser eliminada trabajando en modo relativo, pero esto es sólo cierto para líneas base pequeñas, donde las medidas de distancias satélite-receptor se ven afectadas de igual forma por la refracción. De otro modo, ya vimos que la refracción ionosférica puede ser eliminada utilizando una adecuada combinación de datos en doble frecuencia.

Disponibilidad Selectiva: La Disponibilidad Selectiva supone una alteración o manipulación de la información que los satélites de la constelación GPS envían a los usuarios en su mensaje de navegación sobre los estados de los relojes y parámetros orbitales, manipulación que realiza el Departamento de Defensa de los Estados Unidos (DoD). Trabajando con posicionamiento relativo o diferencial se puede eliminar este error. El código P (Preciso) tiene una longitud de onda de 29,31 m y precisión aproximada de 0,30 m (para receptores con tecnología de última generación, el ruido en los códigos es de pocos centímetros) (SEEBER, 1993). Siendo el GPS un sistema desarrollado para la defensa de los EUA, es claro que los americanos tienen el control total del mismo y el uso del código P es restrictivo a ellos y sus aliados. Desde el 31-01-1994 la técnica de seguridad *Anti-Spoofing (AS)* se encuentra activada. Ella codifica el código P sobre las fases de las portadoras L1 y L2 en un código secreto denominado código Y. Ellos todavía manipulan las frecuencias de los relojes de los satélites y las efemérides, a través de la técnica de seguridad denominada *Selective Availability (SA)*. Ella, lleva la precisión del código C/A (usado por la comunidad civil) para cerca de 100 m (nivel de probabilidad de 95%). Luego en general, se habla que el GPS para navegación civil tiene una precisión aproximada de 100. Sin embargo, a partir del día 2 de Mayo del 2000, el presidente de los Estados Unidos de América determinó la desactivación de la seguridad SA, posibilitando la navegación civil (receptores con código C/A) con precisión inferior a 25 m, y para receptores geodésicos inferior a 10 m.

Pérdidas de ciclos: Las pérdidas de ciclos suponen un salto en el registro de las medidas de fase, producido por alguna interrupción o pérdida de la señal enviada por el satélite. Estas pérdidas de ciclos pueden ser causadas por la obstrucción de la señal del satélite debido a la presencia de árboles, edificios, puentes, montañas, etc. Esta causa es la más frecuente, pero también pueden ser debidas a una baja SNR (calidad señal-ruido) debido a unas malas condiciones ionosféricas, efecto multicamino, receptores en movimiento, o baja elevación del satélite. Otra causa puede ser un fallo en el software del receptor, que conduce a un procesamiento incorrecto de la señal. Una última causa de pérdida de ciclo, aunque suele darse en raras ocasiones, es aquella debida a un mal funcionamiento del oscilador del satélite. La detección de una pérdida de ciclo y su reparación requiere la localización del salto y determinación de su tamaño. La detección se lleva a cabo por medio de un chequeo o test, este test puede ser medida de la fase en bruto, combinaciones de fase, combinaciones de código y fase, etc. Una vez determinado el tamaño de la pérdida de ciclo, la reparación se hace corrigiendo a todas las observaciones de fase siguientes para este satélite y su portadora, según una cantidad fija. El software interno del receptor es capaz (in situ) de detectar y corregir las pérdidas de ciclo.

Efecto Multicamino: El efecto multipath o multicamino es causado principalmente por múltiples reflexiones de la señal emitida por el satélite en superficies cercanas al receptor. Estas señales reflejadas que se superponen a la señal directa son siempre más largas, ya que tienen un tiempo de propagación más largo y pueden distorsionar significativamente la amplitud y forma de la onda. Este efecto puede ser considerablemente reducido eligiendo puntos de estación protegidos de reflexiones (edificios, vehículos, árboles, etc.), es decir, evitar las superficies reflectantes en las proximidades del receptor; y con un apropiado diseño de la antena, como es la utilización de planos de tierra o el uso de un tipo de antenas denominado "Choke Ring" que reducen las interferencias de señales con baja elevación o incluso con elevación negativa, que son las que provocan el multicamino, en otras palabras, se intenta reducir la intensidad de las señales secundarias y aislar a la señal directa. El efecto multicamino depende de la frecuencia de la portadora. Por lo tanto, las medidas de fase se verán menos afectadas que las medidas de código, donde el efecto multicamino puede alcanzar hasta el nivel de metro.

ANEXO 3
REFORMAS Y ADICIONES A LAS NORMAS TÉCNICAS PARA
LEVANTAMIENTOS GEODÉSICOS

Reformas y Adiciones a las Normas Técnicas para Levantamientos Geodésicos

REFORMAS Y ADICIONES A LAS NORMAS TÉCNICAS PARA LEVANTAMIENTOS GEODÉSICOS

ACUERDO

Que reforma y adiciona las normas técnicas para levantamientos geodésicos publicadas el lunes primero de abril de 1985, en los siguientes términos:

ARTICULO PRIMERO. - Se reforman los puntos I.5, I.6, V.2, XI, XI.1, XI.2, XI.2.1, XI.2.2, XI.2.3, y XI.2.4; para quedar como siguen:

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

I.6 Para los efectos del punto anterior, las Coordenadas Cartesianas ITRF92 Época 1988.0 se deben transformar a coordenadas geodésicas curvilíneas (latitud, longitud y altura elipsoidal) en el elipsoide del Sistema Geodésico de Referencia 1980 (GRS80) que es definido por los siguientes parámetros:

Semieje Mayor	a	6 378 137 m
Velocidad Angular	w	7 292 115x10 ⁻¹¹ rad/seg
Constante Gravitacional Geocéntrica	GM	3 986 005x10 ⁸ m ³ /seg ²
Factor dinámico de la Tierra	J2	108 263x10 ⁻⁸

Constantes geométricas derivadas

Semieje menor	b	6 356 752.314 1 m
Excentricidad lineal	E	521 854.009 7 m
Radio polar	c	6 399 593.625 9 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
Recíproco del achatamiento	f-1	298.257 222 101
Cuadrante meridiano	Q	10 001 965.729 3 m
Radio medio	R1	6 371 008.771 4 m
Radio de la esfera de la misma superficie	R2	6 371 007.181 0 m
Radio de la esfera del mismo volumen	R3	6 371 000.790 0 m

V.2 Los instrumentos que se empleen deberán cumplir con los requisitos generales que se indiquen según el tipo de levantamiento y el grado de exactitud requerido. Los instrumentos básicos serán, para levantamientos geodésicos horizontales, teodolitos geodésicos con resolución menor a 1.0" y distanciómetros electrónicos con precisiones menores a 2.0 cm., más un cierto número de partes por

Reformas y Adiciones a las Normas Técnicas para Levantamientos Geodésicos

millón de la distancia medida; para levantamientos horizontales que incluyen la dimensión vertical, sistemas de rastreo de satélites para la medición del efecto doppler, medición de diferencias de fase y medición de pseudo distancias, y en el caso del método inercial, los sistemas disponibles con la capacidad requerida para cumplir con estas normas; para levantamientos geodésicos verticales, niveles montados, con una sensibilidad menor a 0.50", que en el caso del primer orden tengan una calidad óptica tal que permita la repetibilidad de lecturas dentro de 0.2 mm. sobre una mira geodésica a una distancia de 50 m. en condiciones atmosféricas normales; y para levantamientos gravimétricos, instrumentos con una resolución de lectura menor a 0.1 mgal.

XI. LEVANTAMIENTOS GEODESICOS HORIZONTALES

Se define como levantamiento geodésico al conjunto de procedimientos y operaciones de campo y gabinete destinado a determinar las coordenadas geodésicas de puntos sobre el terreno convenientemente elegidos y demarcados con respecto al Sistema ITRF92 Época 1988.0 que se define en los puntos I.5 y I.6 de estas normas.

XI.1 Para levantamientos geodésicos se podrán utilizar los métodos que se enlistan a continuación o sus combinaciones. La selección de cualquiera de ellos cuando sea posible optar entre dos o más, deberá estar ligada a las consideraciones económicas y a su capacidad relativa para producir los resultados esperados, los que deben formar parte de los criterios contemplados en el preanálisis y diseño del anteproyecto:

- Triangulación.
- Trilateración.
- Triangulateración.
- Poligonación.
- Método Astronómico.
- Método Inercial.
- Técnicas diferenciales del Sistema de Posicionamiento Global.

Para efectos comparativos e independientemente de las definiciones que se dan en forma específica para cada método en las partes conducentes de este documento se dan las siguientes descripciones básicas:

XI.2 Con propósitos de clasificación de los levantamientos geodésicos se establecen los siguientes órdenes y clases de exactitud relativa, asociados con valores de esta última que es posible obtener entre puntos ligados directamente, con un nivel de confianza del 95% y en tanto se observen las normas del caso:

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

En los órdenes AA, A, B, se aplican básicamente las técnicas diferenciales del Sistema de Posicionamiento Global y el orden C sigue vigente para los levantamientos geodésicos clásicos por los métodos

Reformas y Adiciones a las Normas Técnicas para Levantamientos Geodésicos

tradicionales, siendo posible la aplicación de técnicas diferenciales del Sistema de Posicionamiento Global en este orden.

XI.2.1 ORDEN AA

Los levantamientos geodésicos horizontales que se hagan dentro de este orden estarán destinados a estudios sobre deformación regional y global de la corteza terrestre y de efectos geodinámicos y en general a cualquier trabajo que requiera una exactitud de una parte en 100'000,000.

XI.2.2 ORDEN A

Deberá aplicarse para aquellos trabajos encaminados a establecer el sistema geodésico de referencia nacional básico, a levantamientos sobre estudios de deformación local de la corteza terrestre, así como cualquier levantamiento que requiera una precisión de 1:10'000,000.

XI.2.3 ORDEN B

Se destinarán a levantamientos de densificación del sistema geodésico de referencia nacional, conectados necesariamente a la red básica; trabajos de ingeniería de alta precisión, así como de geodinámica. Los trabajos que se hagan dentro de esta clasificación deberán integrarse a la red geodésica básica y ajustarse junto con ella, dando como resultado una exactitud no menor a 1:1,000,000.

XII.2.4 ORDEN C PRIMEPO

Los levantamientos geodésicos horizontales que se hagan dentro de este orden deberán destinarse al establecimiento de control primario en áreas metropolitanas, al apoyo para el desarrollo de proyectos importantes de ingeniería, con fines de investigación científica, y en general a cualquier trabajo que requiera una exactitud no menor a 1:100,000, y debiéndose ligar a la red geodésica básica o a su densificación.

VIII.1 Todo levantamiento deberá iniciarse y terminar en puntos de parámetros conocidos, previamente determinados en otros levantamientos del mismo tipo, cuyo orden de exactitud sea igual o mayor al que se propone para el levantamiento en ejecución.

VIII.2 La conexión se establecerá haciendo observaciones sobre los parámetros característicos del caso; ángulos y distancias en levantamientos geodésicos horizontales, diferencias de elevación en el caso de levantamientos geodésicos verticales y diferencias de gravedad cuando se trate de levantamientos gravimétricos.

VIII.3 La liga deberá hacerse con los procedimientos de observación correspondientes al orden de exactitud del levantamiento que actualmente se esté efectuando.

VIII.4 Se pondrá especial atención en verificar que la posición espacial de los monumentos utilizados para la liga no haya sufrido cambios, para lo cual se deberán observar las especificaciones que para cada tipo de levantamiento se consignan en este documento.

VIII.5 La conexión al marco de referencia ITRF92 Época 1988.0 se podrá establecer de dos maneras, con equipo tradicional como se indica en los puntos VIII.1 al VIII.4 (Normado del 1 de abril de 1985) y con equipo GPS como se indica en el punto VIII.7.

VIII.6 Con propósitos de clasificación los levantamientos geodésicos con el sistema, de posicionamiento global, se deberán efectuar de acuerdo a lo dispuesto en los estándares de precisión geométrica como se muestra en la siguiente tabla.

Reformas y Adiciones a las Normas Técnicas para Levantamientos Geodésicos

Estándares Geométricos de Precisión	AA	A	B	1°	C 2°	3°
Número mínimo de estaciones de control de la Red Geodésica Horizontal que se deben ligar:	4					
AA	2	3				
A	2	2	3			
B						
C	1	1	1	2		
1°	1	1	1	1	2	
2°	1	1	1	1	1	1
3°						
Ligas a la Red Geodésica Vertical	5	4	3	2	op	op
Número mínimo de estaciones de monitoreo continuo (RGNA) o Fiducial	4	3	2	op	op	op
Localización de las estaciones de control (número de cuadrantes)	2	2	2	1	na	na
Separación entre estaciones (km) Entre estaciones existentes fuera del área de proyecto y el límite del área del mismo	3000 100 d	500 10 d	400 7 d	5 d nd/5	na	na
Entre estaciones existentes y el centro del proyecto a no más de						

d. Distancia máxima en kilómetros (km) entre el centro del área de proyecto y cualquier estación de este.

op. Opcional.

na. No aplicable.

1. RGNA. Red Geodésica Nacional Activa.

Fiducial. Estación de orden AA establecida por medio de observaciones VLBI, SLR o GPS. En el caso del número mínimo de estaciones de liga el orden superior invalida al inferior; esto es, en el caso de una estación de orden B se requiere hacer la liga a tres estaciones de orden B o dos de orden A, a dos de orden AA.

VIII.7 Las ligas con respecto al Marco de Referencia ITRF92 Época 1988.0, utilizando equipo GPS., se establecerán de dos maneras: mediante el método diferencial de la red geodésica nacional activa o haciendo observaciones simultáneas desde vértices ya establecidos con valores ITRF92 Época 1988.0.

VIII.7.1 Para ligar los trabajos desde vértices ya establecidos con valores ITRF92 Época 1988.0, los usuarios deberán colocar un receptor GPS. en el vértice más conveniente de acuerdo a las necesidades de su proyecto y otro u otros receptores en los vértices a establecer, diseñado de acuerdo a lo indicado en la tabla VIII.1 Después de calcular los vectores, se deberán ajustar las figuras del proyecto con los valores ITRF92 Época 1988.0 del vértice en donde se ubicó el o los receptores base.

VIII.7.2 Ligas a la Red Geodésica Nacional Activa. A fin de homogeneizar los trabajos geodésicos y reducir tiempos y costos de los proyectos llevados a cabo con metodología GPS. se establece que el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática opere y controle una red de estaciones de monitoreo continuo de datos GPS., denominada Red Geodésica Nacional Activa, que consiste en una estructura básica de referencia geodésica, integrada inicialmente por 14 estaciones de rastreo permanente de información satelital GPS. que registran datos los 365 días del año durante al menos 23 horas diarias, con un intervalo de registro a cada 15 segundos. Se presenta como una alternativa para que usuarios públicos y privados, que realicen sus proyectos geodésicos o topográficos con tecnología GPS. los ligen mediante levantamientos diferenciales al marco geodésico de referencia ITRF92 Época 1988.0.

Estas estaciones cuentan con valores de coordenadas de orden A, y garantiza la cobertura de la totalidad de la superficie continental del país.

Reformas y Adiciones a las Normas Técnicas para Levantamientos Geodésicos

VIII.7.3 El servicio de la Red Geodésica Nacional Activa. El rastreo permanente de estas 14 estaciones tienen como finalidad el servir como referencia para el establecimiento de otras estaciones o subredes mediante la diferenciación de las observaciones del usuario con respecto a una o más estaciones.

- La solicitud de Información y obtención de datos satelitales, podrá realizarse en los Centros de Información y Ventas del INEGI.

VIII.7.4 Lineamientos para la utilización del servicio de la Red Geodésica Nacional Activa.

- Puede utilizarse la marca del equipo GPS, que más convenga al usuario y utilizar el software correspondiente para el cálculo y ajuste de los vectores, con la condición de que el software tenga la opción de leer archivos RINEX.
- Los horarios de medida serán establecidos por el usuario considerando su programa de trabajo y la hora de descarga de la información en las estaciones fijas.
- Para el procesamiento de los vectores GPS, se podrán utilizar datos de una o más estaciones fijas. Si se decide usar sólo una, se recomienda hacerlo con la más cercana.
- Si sólo se cuenta con un receptor, se recomienda utilizar datos de por lo menos dos estaciones fijas, lo que permitirá realizar adecuadamente el ajuste de los vectores GPS.
- Cuando se cuente con equipos de una sola frecuencia, sólo se podrán realizar ligas a alguna estación fija, si el área de trabajo se encuentra a menos de 40 kilómetros.
- Los datos de observación que se soliciten de la estación fija, deben coincidir en hora, día, semana y año con los del receptor utilizado por el usuario y procesar combinadamente.

XI.1.8 Técnicas diferenciales del Sistema de Posicionamiento Global.

Este método consiste en recibir la señal electromagnética emitida por los satélites de la constelación NAVSTAR que conforman el Sistema de Posicionamiento Global para determinar la posición relativa de puntos sobre la superficie terrestre. Dada la complejidad, el tamaño y dinámica de cambio de las normas para este tipo de levantamientos se tratarán a detalle en un documento por separado, dándose en éste los lineamientos mínimos.

XI.2.5 ORDEN C SEGUNDO, CLASE I

Se deberán aplicar en la densificación en las áreas metropolitanas, en el desarrollo de fraccionamientos y levantamientos detallados en zonas de alto desarrollo y valor del suelo, en el levantamiento y trazo de límites administrativos y en general para todo proyecto que requiera de una exactitud no menor que una parte en 50,000.

XI.2.6 ORDEN C SEGUNDO, CLASE II

Deberá aplicarse al caso de levantamientos geodésicos horizontales en áreas que no tienen un alto índice de desarrollo y donde no se prevea que éste se produzca a corto plazo; en levantamientos para apoyo cartográfico y de procesos fotogramétricos, en el establecimiento de control geodésico a lo largo de costas, ríos navegables, entre vías de comunicación importantes, en fraccionamientos y parcelamientos, en áreas de alto valor del suelo, en construcción y en todo trabajo que requiera una exactitud no menor que una parte en 20,000.

XI.2.7 ORDEN C TERCERO, CLASES I Y II

Se deberá destinar al control geodésico horizontal de áreas de valor medio a bajo del suelo, a proyectos locales de desarrollo, levantamientos topográficos e hidrográficos, densificación de los levantamientos de segundo orden, a proyectos de ingeniería en levantamientos de áreas rurales y, en general, para todo tipo de trabajo que requiera exactitudes de una o dos partes en 10,000, según las necesidades.

XI.8 TÉCNICAS DIFERENCIALES DEL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL

Es el método de posicionamiento que se describe en el punto XI.1.8, que se incluye como una alternativa para el levantamiento geodésico debiendo observarse las especificaciones que a continuación se enumeran, las cuales están indicadas exclusivamente para levantamientos GPS, diferenciales estáticos.

A efecto de clasificar en orden y clase los levantamientos GPS, se debe cumplir con las especificaciones en la tabla XI.18.

XI.8.1 Para efectos prácticos y de acuerdo con las necesidades y requerimientos específicos del proyecto se deberá hacer uso de las posiciones de los satélites, dadas por las efemérides transmitidas o por las efemérides precisas, ver tabla de clasificación XI.18.

TABLA XI.18

CLASIFICACION DE LEVANTAMIENTOS GPS.					
ORDEN	CLASE	EXACTITUD RELATIVA	P.P.M.	EFEMERIDES BASE/CALCULO	ERROR BASE (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 : 5 000	100.0	TRANSMITIDAS	5.0

XI.8.2 LINEAMIENTOS QUE PERMITEN DEFINIR DE MANERA CONFIABLE EL LEVANTAMIENTO

XI.8.2.1 En el diseño se deberá definir el intervalo de tiempo de observación, el intervalo de tiempo de recepción de cada registro de la señal y el método específico de observación. Para producir las exactitudes relativas esperadas en cada orden y clase de los levantamientos, de acuerdo con los lineamientos indicados en estas normas.

XI.8.2.2 Identificación de los puntos que conforman el proyecto (nuevas, referencia y fiduciales).

XI.8.2.3 Identificación de las posibles obstrucciones que se encontraron en la etapa de reconocimiento.

XI.8.2.4 La cortina de elevación sobre el horizonte para la mejor recepción de la señal de los satélites no debe ser mayor a 15°.

XI.8.2.5 En tanto sea posible, la antena deberá instalarse de tal manera de minimizar los efectos de rebote de las señales electromagnéticas. En lo general, se deberán evitar instalaciones cercanas a estructuras u otros cuerpos que puedan causar interferencia en la señal.

XI.8.2.6 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.

XI.8.2.7 Deberá medirse la altura de la antena sobre la marca de estación de acuerdo al número de veces indicado en la tabla XI.19.

XI.8.2.8 Se deberán evitar levantamientos en áreas en donde se produzcan transmisiones radiales, radares 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.

XI.8.2.9 De las observaciones y registros obtenidos se deberá hacer un expediente completo y conservarlo cuidadosamente como un documento de información primaria.

XI.8.3 El orden requerido de exactitud para clasificar un vértice obliga a cumplir con los requisitos indicados en la tabla XI.19, en la que se especifican características del equipo en función de las frecuencias, número de sesiones, tiempos mínimos de medida por sesión, observaciones meteorológicas, número de veces que se debe de medir la antena por sesión, número de receptores que participan en medida simultánea, y número y orden de las estaciones con que se debe diferenciar.

Reformas y Adiciones a las Normas Técnicas para Levantamientos Geodésicos

XI.8.3.1 Con propósitos de clasificación, los vértices de liga deben ser de cuando menos un orden mayor o igual de la estación que se está diferenciando, aun cuando la exactitud relativa del vector o vectores, indique que su clasificación puede ser de mejor calidad.

TABLA XI.19

LINEAMIENTOS PARA LEVANTAMIENTOS GPS. DE ACUERDO A SU CLASIFICACION

ORDEN	CLASE	TIPO DE EQUIPO	NUMERO MINIMO 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	2-3	2	2	3
C							
Primero	UNICA	OP.	1	1-2	1	2	3
Segundo	I	OP.	1	1-2	-	1	2
	II	OP.	1	1-2	-	1	2
Tercero	I	OP.	1	1-2	-	1	2
	II	OP.	1	1-2	-	1	2

***D.F.--DOBLE FRECUENCIA

***OP.--OPCIONAL EL USO DE DOBLE FRECUENCIA

XI.8.4 ACRONIMOS USADOS

GPS.	(Global Positioning System) Sistema de Posicionamiento Global.
GRS80	(Geodetic Reference System 1980) Sistema Geodésico de Referencia 1980.
IERS	(International Earth Rotation Service) Servicio Internacional de Rotación de la Tierra.
ITRF	(IERS Terrestrial Reference Frame) Marco de Referencia Terrestre del IERS.
NAD27	(North American Datum) Datum Norteamericano de 1927.
NAVSTAR	(Navigation Satellite Timing And Ranging) Satélites de Navegación Tiempo y Distancia.
RINEX	(Receiver Independent Exchange Format) Formato de intercambio independiente del receptor.
SLR	(Satellite Laser Ranging) Medición láser a satélites.
VLBI	(Very Long Baseline Interferometry) Interferometría de bases muy largas.

Tomado del Diario Oficial de la Federación Publicado el 1 de Abril de 1985

ANEXO 4
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA MONUMENTOS

CWU Geology GPS RBUT Type Monument

scale 1 inch = 1 foot

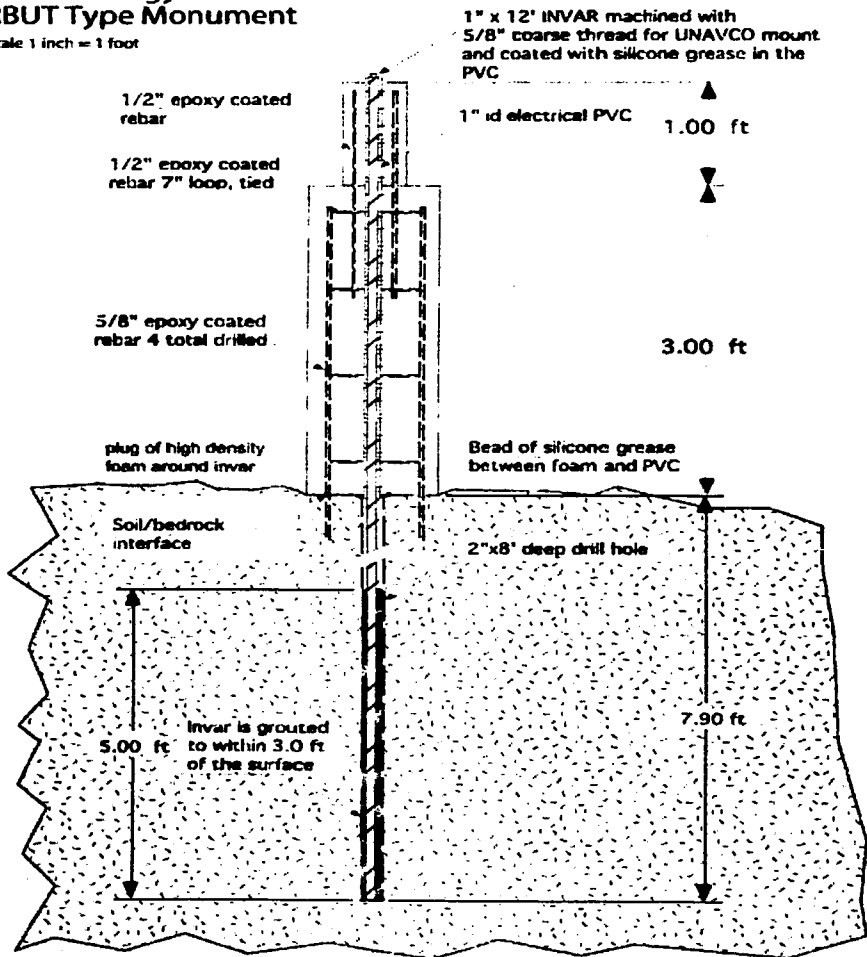
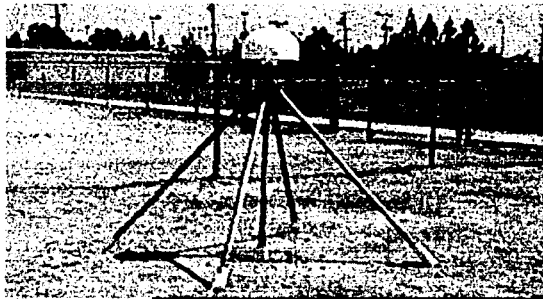
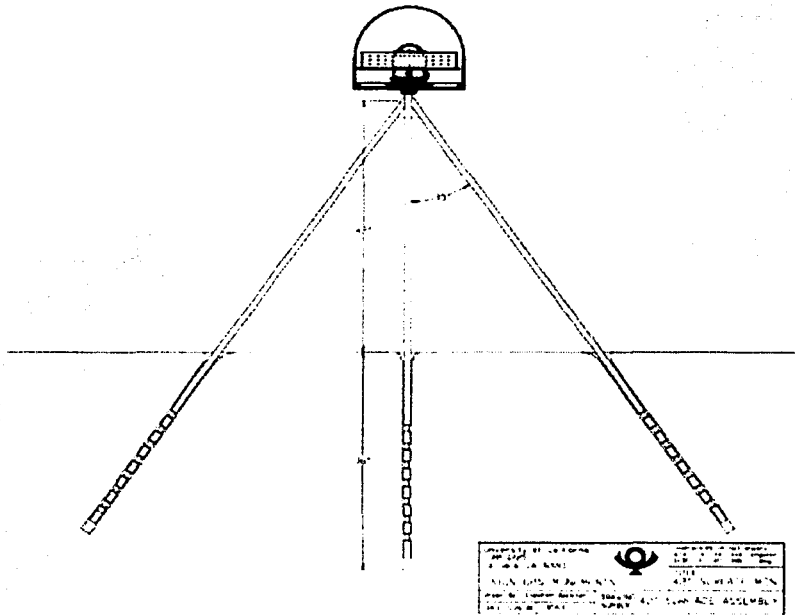
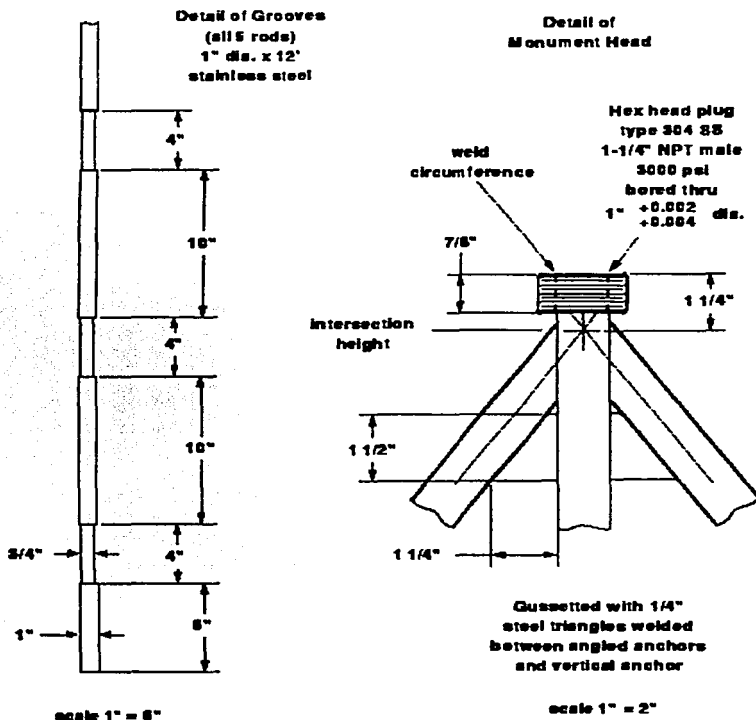


Diagrama de Monumento Tipo a Nivel de Piso.



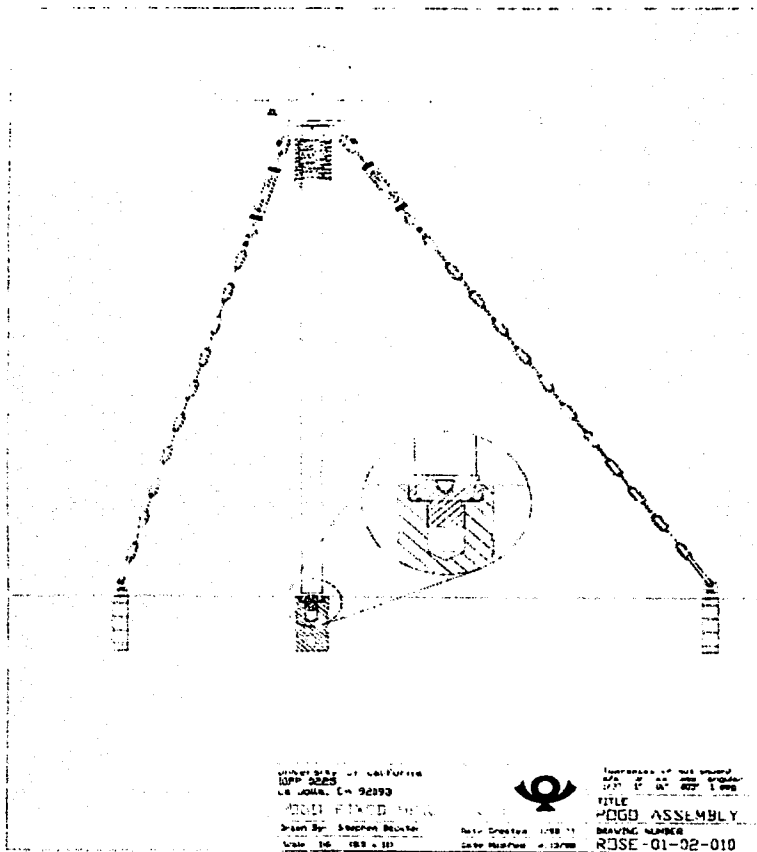
Monumento Simple Tubular.



First built 8/97, San Clemente Island

University of California NIPP 0223 La Jolla, California 92093		TITLE (97) Hand Drilled Braced Monument Details
Piñon Flat Observatory		
DRAWN BY C B Hallstead	DATE 14 Sep 97	DRAWING NUMBER MHD-131
Do Not Scale This Drawing	SCALE as noted	

Diagrama de los Detalles de la Conexión Tubular del Monumento Anterior.



Monumento Simple Empotrado a Piso y Nivelado a Tensión.

