



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

GUIA PRÁCTICA PARA EL USO DEL RECEPTOR GPS DE MONOFRECUENCIA L1

Sergio Erinaldo Salazar Marroquín

Asesorado por el Ing. Juan Ramón Ordoñez Hernández

Guatemala, junio de 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



GUIA PRÁCTICA PARA EL USO DEL RECEPTOR GPS DE MONOFRECUENCIA L1

TRABAJO DE GRADUACIÓN
PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

SERGIO ERNALDO SALAZAR MARROQUÍN
ASESORADO POR EL ING. JUAN RAMÓN ORDOÑEZ HERNÁNDEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, JUNIO DE 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero Spínola de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Milton De León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultán Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

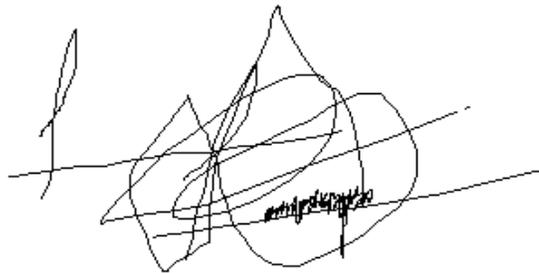
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Luis Manuel Sandoval
EXAMINADOR	Ing. Fernando Valenzuela
EXAMINADOR	Ing. Hugo Montenegro
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

GUIA PRÁCTICA PARA EL USO DEL RECEPTOR GPS DE MONOFRECUENCIA L1,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha veinticinco de agosto de 2008.

A handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping loops and lines, positioned above a horizontal line.

Sergio Ernaldo Salazar Marroquín

Guatemala 15 de abril de 2009

Ingeniero
Fernando Amilcar Boiton Velásquez
Coordinador del Área de Topografía y Transportes
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Boiton:

Por este medio hago de su conocimiento que he revisado el Trabajo de Graduación titulado **“GUIA PRACTICA PARA EL USO DEL RECEPTOR GPS DE MONOFRECUENCIA L1”**, desarrollado por el estudiante universitario Sergio Eraldo Salazar Marroquín, con la asesoría del suscrito.

El trabajo en mención satisface los requisitos que exige la Facultad, por lo cual recomiendo que se continúe con los tramites para la aprobación de la misma.

Sin otro particular, me suscribo de usted.

Atentamente,



ING. JUAN RAMON ORDOÑEZ HERNANDEZ
Colegiado N° 4,052
Asesor.



Guatemala,
20 de mayo de 2009

FACULTAD DE INGENIERIA

Ingeniero
Sydney Alexander Samuels Milson
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Samuels.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **GUÍA PRÁCTICA PARA EL USO DEL RECEPTOR GPS DE MONOFRECUENCIA L1**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Sergio Eraldo Salazar Marroquín, quien contó con la asesoría del Ing. Juan Ramón Ordóñez Hernández.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Fernando Amílcar Boiton Velásquez
Coordinador del Área de Topografía y Transporte

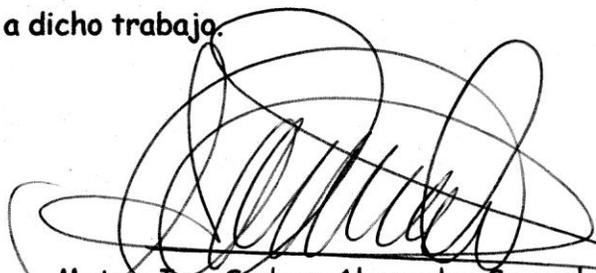


FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
TRANSPORTES
USAC

/bbdeb.



El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Juan Ramón Ordóñez Hernández y del Coordinador del Área de Topografía y Transportes, Ing. Fernando Amilcar Boiton Velásquez, al trabajo de graduación del estudiante Sergio Erinaldo Salazar Marroquín, titulado GUÍA PRÁCTICA PARA EL USO DEL RECEPTOR GPS DE MONOFRECUENCIA L1, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.



Mgter. Ing. Sydney Alexander Samuels Milson

Guatemala, junio 2009

/bbdeb.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO PARA EL CANTÓN MARROQUÍN Y EDIFICACIÓN DE DOS NIVELES PARA SALÓN COMUNAL, EN EL CASERÍO EL TIGRE, MUNICIPIO DE SALCAJÁ, DEPARTAMENTO DE QUETZALTENANGO**, presentado por el estudiante universitario **Melvin Raúl Rojas Palacios**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, junio de 2009

/cc

AGRADECIMIENTOS A:

Mi mamá Por apoyarme en toda mi vida.

Mis hermanos Por su apoyo incondicional.

La Universidad Por otorgarme todos los conocimientos necesarios para ser un buen profesional.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XVII
OBJETIVOS	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. HISTORIA DE SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL	
1.1 Historia del sistema GPS	1
1.2 Topografía con el sistema GPS	3
1.3 Historia del desarrollo de equipos (Hardware)	4
2. CONCEPTOS GENERALES	
2.1 Constelación de satélites	7
2.1.1 Configuración	8
2.1.2 Satélites	9
2.1.3 Categoría de los satélites	9
2.1.4 La señal de los satélites	12
2.1.5 Identificación de los satélites	13
2.1.6 Negación de precisión y acceso	13
2.2 Sistema de control terrestre	14
2.3 Sistema para el usuario	16
2.3.1 Militar	16
2.3.2 Civil	17

2.3.3	Tipos de receptores GPS	17
2.3.4	Como funciona el sistema GPS	19
2.4	Coordenadas, datums y transformaciones	21
2.5	Especificaciones horizontales y verticales	23
3.	TÉCNICAS DE LEVANTAMIENTO	
3.1	Equipo utilizado	25
3.2	Normas de precisión del equipo	25
3.2.1	Tolerancia de cierre angular	29
3.2.2	Tolerancias de cierre en distancias	30
3.3	Inspección previa para el levantamiento del Sistema Global de Posicionamiento	31
3.3.1	Planteamiento del levantamiento	32
3.3.1.1	Información necesaria	33
3.3.1.2	Descripción	34
3.3.1.3	Satélites visibles contra el tiempo	34
3.4	Descripción del área del levantamiento	35
3.5	Instalación del equipo de campo	37
3.6	Técnicas de levantamiento	41
3.6.1	Método estático	41
3.6.2	Método cinemático	45
3.7	Procesamiento de datos	50
4.	COMPARACIÓN DE LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS	
4.1	Levantamientos topográficos de un polígono	65
4.1.1	Levantamiento utilizando topografía convencional	65
4.1.2	Levantamiento utilizando Receptor GPS	66

4.2 Resultados	67
4.2.1 Personal empleado	67
4.2.2 Tiempos de trabajo de campo	67
4.2.3 Precisiones	68
4.2.3.1 En relación a las distancias	68
4.2.3.2 En relación a los acimuts	69
4.2.3.3 Escala	69
4.2.3.4 Proyección	70
4.2.4 Tiempos de trabajo en gabinete	70
4.2.5 Resumen de resultados	71
4.2.6 Análisis de resultados	71
4.2.6.1 Personal	71
4.2.6.2 Tiempos	72
4.2.6.3 Error en distancias y perímetro	72
4.2.6.4 Diferencias angulares	73
4.2.6.5 Áreas	73
CONCLUSIONES	75
RECOMENDACIONES	77
BIBLIOGRAFÍA	79
ANEXOS	81

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Concepto artístico de un satélite GPS	2
2. Constelación de satélites	7
3. Satélites bloque I	10
4. Satélites bloque II	10
5. Satélites bloque IIA	11
6. Frecuencias	12
7. Sistema de control	15
8. Sistema de operación	20
9. Antena GPS, barra de extensión vertical, ensamble adaptador para base nivelante	37
10. Antena GPS montada en trípode utilizando base nivelante y extensión	38
11. Montaje de ProMark2 en la abrazadera de terreno.	38
12. Abrazadera de terreno en trípode	39
13. Conexión de cable de antena en antena y en receptor	40
14. Midiendo altura de instrumento	41
15. Receptor de referencia	49
16. Radio-módem	49
17. Receptor móvil	50
18. Ventana principal administrador de proyecto	52
19. Ventana de filtro	53
20. Ventana de parámetros de ocupación – ficha general	54
21. Ventana de parámetros de ocupación – ficha general	55
22. Ventana de propiedades de estación – ficha posición	56
23. Ventana de propiedades de estación - ficha control	56

24. Ventana de mensaje de coordenada primaria	59
25. Gráfico de diagrama de estaciones de proceso	62
26. Escala	69
27. Desplazamiento entre datums	70

TABLAS

I. Equipo utilizado	25
II. Comparación de precisión estimada con	27
III. GPS y sistema de satélites GLONASS errores de cierre angular según levantamiento topográfico	30
IV. Comparación de método estático y estático rápido	44
V. Resumen de resultados	71

LISTA DE SÍMBOLOS

a	=	Aproximación de teodolito en segundos
CT	=	Sistema convencional terrestre de coordenadas
UTM	=	Universal Transverse Mecator
P	=	Punto
E	=	Error
Eu	=	Error unitario
e	=	Error angular
cm.	=	centímetro
mt.	=	metro
m. az.	=	Movimiento azimutal del teodolito
m. g.	=	Movimiento general
n	=	Número de estaciones del polígono
ppm	=	Partes por millón
T	=	Tiempo
X,Y,Z	=	Componentes Rectangulares del vector que identifica a P

GLOSARIO

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 Elipsoidal	Medida de la distancia de un punto terrestre a la superficie de un elipsoide referencia.
Altura ortométrica	Medida de la distancia de un punto al geoide según la línea de la plomada.
Ambigüedad	El número arbitrario de ciclos de una observación de fase al comienzo de ésta.
AS o Anti-engaño	Es un tratamiento aplicado a la señal cuya finalidad es que los receptores no caigan en la trampa de tomar como auténticas señales falsas emitidas por el enemigo.
Banda L	Grupo de frecuencias de radio comprendidas entre 390MHz y 1550MHz entre las que se incluyen las frecuencias GPS.
Base line	Línea de base

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	Código C/A
Canal	Es el circuito de un receptor GPS necesario para recibir la señal de un único satélite.
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.
Chip	El intervalo de tiempo requerido para la transmisión de cada 0 ó 1 en la secuencia pseudo-aleatoria.
Ciclo faltante	Discontinuidad en la medición de fase resultante de la pérdida de conexión durante el seguimiento de un satélite.
Error del reloj	Diferencia constante entre las lecturas de tiempo de dos relojes.
Código C/A	Modulado sobre la señal GPS L 1. 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.
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.

Constelación	Conjunto de satélites GPS en órbita.
Cartesianas	Números reales X, Y, Z representativos de la posición de un punto P de la Tierra en relación a tres ejes mutuamente perpendiculares que se intersecan en un punto común u origen. También se las reconoce como las componentes rectangulares del vector que identifica a P.
Coordenadas geodésicas	Un sistema de coordenadas donde la posición de un punto es definida usando los elementos latitud, longitud y altura elipsoidal.
Coordenadas fijas	Coordenadas de un punto que no están sujetas a ajustes.
Retardo ionosférica	Corrección ionosférica
Retardo troposférico	Corrección troposférica
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 geoide. 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.
DoD	Departamento de Defensa de los Estados Unidos.
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.
Efemérides	Conjunto de parámetros numéricos que describen las posiciones precisas de los satélites en función del tiempo. Las mismas pueden ser transmitidas o precisas.
Elevación de un punto	Altura sobre el nivel del mar.
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”.
Elipsoide de error	Concepto análogo al de elipse de error aplicado a 3D.
EGM	Modelo gravitatorio terrestre.

Error Probable Esférico	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.
Estación base	En posicionamiento GPS diferencial una estación base es aquella que siendo extremo de un vector se asume como de coordenadas conocidas. También se la suele llamar “estación de referencia”.
Exactitud	El grado de acuerdo entre la estimación o la medida de una posición y el valor de la misma considerado como “verdadero”.
GDOP	Medida de la calidad geométrica de una constelación para las soluciones conjuntas de posición y tiempo.
Geodesia	Disciplina que se ocupa de la determinación de la figura y dimensiones de la Tierra, del campo gravitatorio terrestre y las variaciones temporales de los mismos.
GLONASS	Globainaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema: sistema ruso de navegación por satélites de diseño muy similar al GPS.
GPS	Sistema de Posicionamiento Global
HDOP	Es el DOP referido a mediciones horizontales (latitud, longitud). (Ver PDOP)

Línea de base	Longitud del vector tridimensional entre un par de estaciones donde se han colectado datos simultáneamente y procesado con técnicas diferenciales.
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 les suma el mensaje de navegación. L2 en 1227,60MHz, sólo porta el código P y el mensaje de navegación.
Máscara de elevación	La menor elevación, en grados, a la cual se le permite al receptor rastrear un satélite. Medida a partir del horizonte corrientemente se fija en 150 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.
Mediciones de código	Mediciones GPS basadas en el código C/A.
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 o Multitrayectoria
NAD-83	Datum norteamericano 1983.

NAVSTAR	Acrónimo de <i>Navigation System with Timing and Geodegy</i> es el nombre de los satélites del sistema GPS.
PDOP	Es el DOP referido a la posición 3D de un punto (latitud, longitud y altura).
Post proceso	Procedimiento de corrección y cálculo de las coordenadas de los puntos posterior a la medición.
ppm =partes por millón	Expresión del error relativo usado frecuentemente para referirse al error en la determinación de distancias.
Pseudistancia	Una distancia medida entre el satélite y el receptor que no ha sido corregida de los errores de sincronización entre los relojes de arribos.
RINEX	Acrónimo de <i>Receiver Independent Exchange Format</i> 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.
Rover	Remoto
Satélite GPS o NAVSTAR	Vehículo espacial de la familia GPS.
SPS	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 10 mt. en una posición horizontal (2D) el 95% de las veces usando la técnica de posicionamiento autónomo.

SNR También llamado “nivel de señal”, es una medida de cuánto afecta el ruido la fidelidad de la señal GPS.

TDOP DOP correspondiente a la determinación del tiempo.

UTM Es un caso especial de la proyección Mercator Transversa la cual consiste en dividir el elipsoide terrestre en 60 zonas norte-sur de 6° de amplitud en longitud cada una, numeradas de 0 a 60 hacia el Este, a partir del antemeridiano de Greenwich.

VDOP DOP para el posicionamiento vertical.

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.

RESUMEN

El primer sistema de navegación basado en satélites. Entra en servicio en 1965. Al principio de los 60 los departamentos de defensa, transporte y la agencia espacial norteamericanas (DoD, DoT y NASA respectivamente) tomaron interés en desarrollar un sistema para determinar la posición basado en satélites.

El sistema debía cumplir los requisitos de globalidad, abarcando toda la superficie del globo; continuidad, funcionamiento continuo sin afectarle las condiciones atmosféricas; altamente dinámicas, para posibilitar su uso en aviación y precisión. Esto llevó a producir diferentes experimentos como el Timation y el sistema 621B en desiertos simulando diferentes comportamientos

Aunque es complicado resumirlo, se va a tratar de dar una breve aproximación, ampliando, si el tema despierta interés, la información en otros capítulos de este documento.

Como se ha dicho anteriormente, los receptores GPS reciben la información precisa de la hora y la posición del satélite. Exactamente, recibe dos tipos de datos, los datos del Almanaque, que consiste en una serie de parámetros generales sobre la ubicación y la operatividad de cada satélite en relación al resto de satélites de la red, esta información puede ser recibida desde cualquier satélite, y una vez el receptor GPS tiene la información del último Almanaque recibido y la hora precisa, sabe donde buscar los satélites en el espacio; la otra serie de datos, también conocida como Efemérides, hace referencia a los datos precisos, únicamente, del satélite que está siendo captado por el receptor GPS, son parámetros orbitales exclusivos de ese satélite y se utilizan para calcular la distancia exacta del receptor al satélite. Cuando el receptor ha captado la señal de, al menos, tres satélites calcula su propia posición en la Tierra, mediante la triangulación de la posición de los satélites captados, y nos presentan los datos de Longitud, Latitud y Altitud calculados. Los receptores GPS pueden recibir, y

habitualmente lo hacen, la señal de más de tres satélites para calcular su posición. En principio, cuantas más señales reciben, más exacto es el cálculo de posición.

Cuando recibe la señal de radio de un satélite determinado, el receptor calcula su distancia al mismo mediante un cálculo matemático sencillo: la fórmula del espacio, conociendo la velocidad y el tiempo que tarda la señal. Gracias a que combina la medición de las distancias con varios satélites es capaz de determinar su posición.

No todos los receptores son iguales. Según el tipo de trabajo en que los usemos tendremos diferentes necesidades en cuanto a sus prestaciones, pero vamos a fijar por ejemplo el criterio de la precisión con la que nos dan las coordenadas de los puntos:

- De *Navegación*: proporcionan precisiones de 50 m. a 100 m., lo cual puede ser suficiente para excursionistas, barcos, aviones y otros vehículos.

- *Cartográficos o Geográficos*: proporcionan precisiones mayores que los de navegación: entre 5 m. y 10 cm. Éstos son útiles para realización de cartografía a escalas de alto denominador, actualización cartográfica y otros trabajos en que estas precisiones sean suficientes.

- *Topográficos y Geodésicos*: proporcionan las más altas precisiones: entre 10 cm. y 5 mm. Son los que se emplean en cualquier trabajo topográfico, cartografía a escalas de bajo denominador y trabajos geodésicos.

OBJETIVOS

General

Desarrollar una GUÍA PRÁCTICA PARA EL USO DEL RECEPTOR GPS DE MONOFRECUENCIA L1 y que por medio de un análisis comparativo de resultados de levantamientos topográficos con GPS y Teodolito donde se establezcan las ventajas y desventajas de cada método de levantamiento.

Específicos

- 1). Dar a conocer el manejo y funcionamiento del receptor GPS de mono frecuencia L1.
- 2). Realizar el estudio comparativo entre el uso de teodolitos y cinta, y el uso de receptores GPS de mono-frecuencia en levantamientos topográficos planimétricos.
- 3). Establecer los distintos métodos que se pueden usar para realizar levantamientos topográficos con GPS.
- 4). Determinar los grados de precisión que se pueden obtener utilizando receptores de sistema de posicionamiento Global (GPS).
- 5). Concluir con los resultados obtenidos

INTRODUCCIÓN

El objetivo de este documento es orientar a los usuarios de estos sistemas en el manejo adecuado de los receptores GPS de monofrecuencia L1, ya que la medición con GPS es una poderosa herramienta de trabajo, y que hoy por hoy, se está convirtiendo en el método más usado por su precisión y rapidez en los campos de la agrimensura, navegación aérea, marítima y terrestre, o simplemente para actividades de recreación., siendo este el motivo por el cual el tema no debe pasar desapercibido por ninguno de nuestros profesionales.

Con los receptores GPS se pueden alcanzar altos grados de precisión, rapidez y economía. Sin embargo si no se tiene el conocimiento adecuado, los resultados que se obtendrán podrían ser parcial o totalmente incorrectos. Este riesgo ha sido una de las principales motivaciones de escribir este documento, con la esperanza de servir de guía a los estudiantes de Ingeniería Civil, y que estos conozcan sus distintas aplicaciones.

El método de medición GPS permite reducir el tiempo del levantamiento prácticamente al tiempo que se demora en trasladar el receptor de un punto a otro. Los receptores geodésicos son equipos de alta complejidad, que permiten obtener precisiones que van del rango de los 3 cm. a unos pocos mm. Tanto en planimetría como en altimetría.

En Guatemala, este tipo de tecnología todavía no es de uso muy común en el campo de la Ingeniería Civil y debido a esto se pierde muchos recursos como tiempo, economía, por lo tanto, este documento está orientado a que sirva como motivación de los futuros profesionales de Ingeniería Civil, ya que su uso alrededor del mundo se está diversificando y por lo tanto se necesita estar a la vanguardia de la tecnología.

Este documento está basado en varios textos de Web y de publicaciones en papel para lo que recomiendo ver el apartado de bibliografía que incluye además toda la bibliografía utilizada para la realización del resto de capítulos del proyecto.

1. HISTORIA DEL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL

1.1 Historia del sistema GPS

El GPS surgió debido a la necesidad de las fuerzas armadas de tener un sistema de navegación preciso y que funcionara en aplicaciones diversas. El desarrollo de la tecnología de GPS descansa en progresos en ciencias físicas, en la electrónica, en ciencias de materiales y en muchas otras, pero fue el desarrollo de dispositivos extremadamente precisos para medir el tiempo – relojes atómicos, junto con progreso en la tecnología espacial, que en realidad hicieron posible el GPS. Relojes precisos son esenciales porque el GPS depende en el cronometraje del tiempo que toma a señales de los satélites llegar a los receptores en la tierra para determinar la posición, y los tiempos de viaje de estas señales son extremadamente cortos.

La Era Espacial – La semilla de la navegación por satélites fue sembrada casi al mismo tiempo que el comienzo de la era espacial. Cuando los soviéticos lanzaron el primer satélite en órbita terrestre, el Sputnik I, en 1957, investigadores en el Laboratorio de Física Aplicada de Jonás Hopkins en Baltimore, descubrieron que debido a que ellos sabían exactamente su posición en la tierra, ellos podían calcular la posición exacta del satélite midiendo el corrimiento en la señal de radio transmitida por Sputnik según se acercaba y alejaba de ellos. El corrimiento en la frecuencia, conocido como el efecto Doppler o el corrimiento Doppler, se conocía desde el año 1842, cuando Christian Doppler propuso que la frecuencia de ondas en movimiento con respecto a un observador, aparentemente aumenta, según la fuente de las ondas se acerca al observador, y disminuye según se aleja. Solo tomó un pequeño salto de intuición concluir que lo opuesto también era posible; que uno puede determinar su posición exacta en la tierra si se conoce la posición exacta del satélite.

En 1965, la Marina Estadounidense desarrolló el sistema “Transit” debido a la necesidad de tener un sistema de navegación fiable para submarinos que podían mantenerse sumergidos por semanas y meses. El sistema estaba compuesto de seis satélites en órbitas polares. La posición era determinada usando el corrimiento Doppler. Los satélites transmitían una señal que incluía la hora e información sobre su órbita a la unidad receptora, la cual calculaba su posición usando el corrimiento de la señal y la información temporal y posicional de la señal sin corrimiento Doppler. Usando este sistema, se podía determinar la posición en dos dimensiones en 6 a 10 minutos con una precisión de 25 metros.

Durante la década de los 60, varias ramas de las fuerzas armadas trabajaron en sus propias versiones de sistemas de navegación por satélite. En el 1973, el Departamento de Defensa, ordenó a las diferentes ramas que cooperaran en el desarrollo de un sistema unificado. El resultado fue el Sistema de Posicionamiento Global “Navstar”, el cual depende de satélites que llevaban relojes atómicos a bordo (un concepto que fue probado con anterioridad en un programa de la Marina llamado “Timation”), estaciones terrestres que controlan el sistema, y posicionadores (receptores) para el usuario que no dependen de relojes atómicos.

Figura 1. Concepto artístico de un satélite GPS



El primer satélite de GPS fue lanzado en el 1978. Comenzando en el 1989, una segunda generación de satélites (de Bloque II) fue puesta en servicio. El sistema alcanzó operación plena en el año 1995. En el presente, la flotilla de satélites de GPS consiste en

por lo menos 24 satélites Bloque II. En 1983, luego de que una aeronave Coreana de pasajeros fue derribada por los soviéticos porque penetró su espacio aéreo debido a errores de navegación, el presidente Ronald Reagan declaró que el sistema GPS sería disponible para usos civiles luego de que se completara.

Debido a que el sistema GPS fue desarrollado principalmente para aplicaciones militares, errores de cronometraje (disponibilidad selectiva, “selective availability” – SA) fueron aplicados a las señales de GPS, lo cual limitaba la precisión de posicionadores no militares. Durante la guerra del Golfo Persa en 1991, el sistema GPS se había echo tan indispensable, que no habían suficientes posicionadores (receptores) militares para las tropas, por lo cual el Departamento de Defensa tuvo que usar posicionadores civiles y eliminar temporalmente la SA. La SA global fue eliminada permanentemente en el año 2000, pero el servicio militar estadounidense aún puede introducir errores en las señales en extensiones geográficas limitadas.

1.2 Topografía con el sistema GPS

En el año de 1964 Smith se adjudicó una patente que describía un sistema de satélites, que emitiendo código de tiempo y ondas de radio, serían interceptadas (captadas) en la tierra como transmisión de tiempo desfasado, creando líneas hiperbólicas de posición. Este concepto cobró importancia por la forma en que los receptores GPS procesan la señal que emiten los satélites GPS observados para computar vectores de precisión.

Unos cuantos años después este concepto fue refinado por R. Easlon (1970) al patentar un concepto nuevo a la idea de Smith, al agregarle la comparación del código de fase entre dos o más satélites.

En el año de 1972 C. Counselmann y sus colegas del Instituto Tecnológico de Geodesiasgets (MTI, por sus siglas en inglés) del departamento de ciencias planetarias y de la tierra, reportaron por primera vez el uso de: **Interferometría** para rastrear el módulo lunar del APOLO XVI. El principio que ellos usaron es en esencia la misma

técnica que fue usada después en el desarrollo del primer receptor geodésico de GPS, siendo ésta la medición de las diferencias del pseudorange desde dos receptores hacia un mismo satélite. El uso del código de la fase portadora para generar vectores de calidad milimétrica, basado en el trabajo del grupo del MTI usando líneas –bases largas sin interferometría, fue usado entre los años 1976 y 1978, cuando probaron que se podía obtener precisiones milimétricas usando esta técnica. Así pues los sistemas para fines topográficos que existen en el presente están descritos en los documentos escritos por Counselmann y Shapiro en 1978.

Las terminales en miniatura interferométricas para hacer levantamientos en tierra (MITES, por sus siglas en inglés) describen cómo un sistema puede ser usado para hacer levantamientos de precisión, este concepto fue desarrollado aún más e incluido en el sistema NAVSTAR este concepto se basa en la técnica del procesamiento de códigos que luego fue usada para desarrollar receptores de doble frecuencia (L1 y L2) de alta precisión.

La mayor contribución del grupo MTI para el desarrollo del sistema GPS fue demostrar por primera vez que la señal del satélite podía ser procesada usando las diferencias entre las fases, de tal manera que los vectores entre dos puntos podían ser medidos con precisión milimétrica, para **líneas-bases** cortas (línea base menor de 10 Km.)

1.3 Historia del desarrollo de equipos (Hardware)

La tecnología interferométrica para lecturas de pseudorange fue desarrollada por P. MacDoran, auspiciado por el Instituto Tecnológico de California y con apoyo financiero de la NASA, esta técnica fue mejorada posteriormente por MacDoran y otros colaboradores en el año de 1985 para aplicaciones geodésicas comerciales (no necesariamente gubernamentales).

La culminación de la investigación en la tecnología interferométrica para líneas bases muy largas dio como resultado la fabricación de un receptor GPS, el cual podía

medir líneas – bases cortas con precisión milimétrica y líneas – bases largas con precisión de una parte por millón (ppm). Este receptor fue nombrado **macrometer interferometric surveyor** (marca registrada de Aero Service Division, Western Atlas International, Houston, Texas), siendo probado por el Comité Federal de Control Geodésico de los Estados Unidos (FGCC , por sus siglas en inglés) en el año de 1983, siendo éste el aval para comercializarlo en levantamientos geodésicos.

Paralelamente la Agencia de Mapeo de la Defensa (DMA. Por sus siglas en inglés) en colaboración con la Agencia de Levantamientos Geodésicos Nacionales de los Estados Unidos (NGS, por sus siglas en inglés) y el Departamento de Levantamiento Geológico de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés), desarrollaron especificaciones para un receptor portátil con código de doble frecuencia para ser usado en levantamientos topográficos de precisión y determinación de puntos. A la compañía Texas Instruments se le concedió un contrato para fabricar receptores, este modelo fue llamado TI-4100. El NGS participó en el desarrollo de las especificaciones del TI-4100 y sus geodestas C. Goad y B. Remondi, desarrollaron los programas para procesar los datos de la fase portadora de una manera similar al desarrollada por el grupo MTI.

El siguiente desarrollo en receptores GPS fue cuando en 1985 los fabricantes independientes produjeron los receptores que utilizaban el código C/A que media y generaba la fase portadora. El primer receptor en existir de estos receptores fue el 4000S de marca TRIMBLE, éste requería que los datos fueran archivados en una computadora externa con una interfase con el receptor y en el lugar propio de la medición. Los primeros receptores TRIMBLE fueron vendidos sin programas de procesamiento de datos, sin embargo la compañía contrató los servicios de C Goad que produjo programas para el procesamiento de la información y así mismo fijó las normas para los desarrolladores de programas.

Hasta la fecha los receptores incluyen todas las características de los primeros modelos y además funciones adicionales que los hacen más eficientes. La mayoría de los receptores GPS producidos en nuestros días utilizan el código C/A (que utiliza una sola frecuencia). De cualquier manera, para proyectos que requieran alta precisión geodésica

deben usarse los receptores de doble frecuencia. Muchos de los receptores geodésicos han incorporado la tecnología sin código para rastrear la segunda frecuencia y otros receptores las 2 técnicas (código C/A y código P) para rastrear satélites en ambas de sus frecuencias. Estos receptores avanzados dan un alto grado de precisión y productividad aunque tienden a ser más caros que los receptores que solo pueden leer el código C/A.

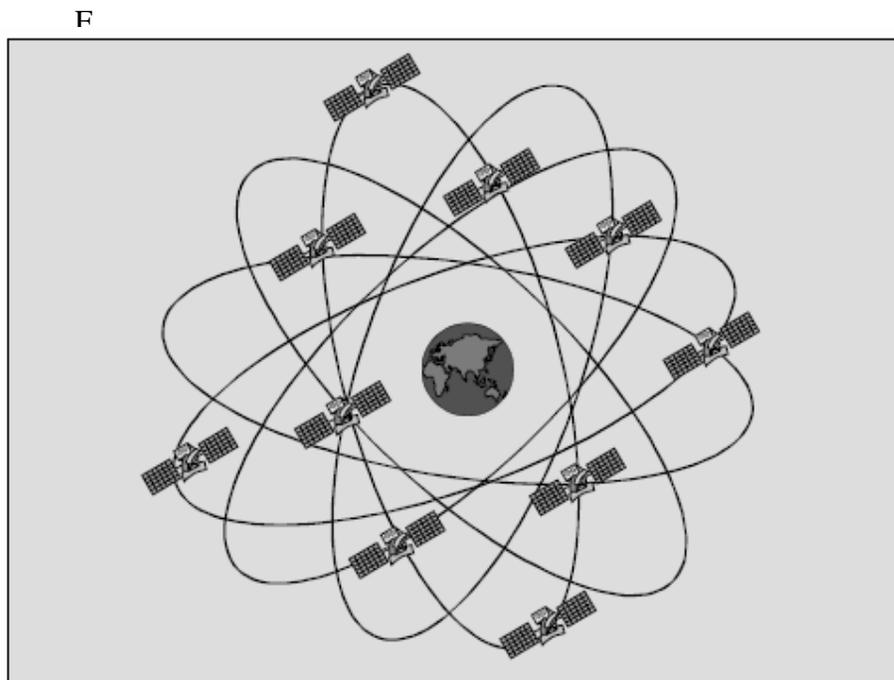
2. CONCEPTOS GENERALES

2.1 Constelación de satélites

El Sistema de Posicionamiento Global consta en tres secciones distintas:

- La sección espacial que envuelve los satélites, con sus señales transmitidas.
- La sección de control responsable por el monitoreo, generación, corrección y evaluación de todo el sistema.
- La sección de usuarios, que envuelve todos los tipos de aplicaciones, métodos de posicionamiento, formas de recepción, procesamiento de las señales y todos los tipos de receptores.

Figura 2. Constelación de satélites



2.1.1 Configuración

La constelación propuesta originalmente consistía en tres planos orbitales, con ocho satélites por órbita; luego se redujeron a 6 por órbita (más tres de repuesto) por motivos presupuestarios, y hasta hace poco, se proyectaba distribuir los 18 satélites de servicio mencionados, en 6 planos orbitales en lugar de los tres iniciales.

La *constelación GPS* consta de 6 órbitas, prácticamente circulares, con inclinación de 55 grados y uniformemente distribuidas en el plano del ecuador. Hay 4 satélites por órbita, uniformemente distribuidos y con altitud de 20180 km., lo que determina, en función de la tercera ley de Kepler y la masa de la Tierra, un período de 12 horas de tiempo sidéreo, es decir, que el satélite completa dos órbitas exactas de 360 grados de giro de la Tierra, por lo que la trayectoria terrestre del satélite (traza del vector geocéntrico del satélite sobre la superficie terrestre) se repite exactamente cada día sidéreo. Esto representa que la configuración local de la constelación se repite casi 4 minutos antes cada día solar, lo que representa casi media hora semanal o unas dos horas mensuales de adelanto. El incremento de un satélite por órbita en el proyecto de la actual constelación elimina zonas de baja cobertura para navegación, existentes con la antigua constelación proyectada de 18 satélites. También hay otros satélites en órbita de aparcamiento, desactivados y disponibles como reserva (spares).

Cada órbita o plano orbital se identifica por una letra. Los planos orbitales son: A, B, C, D, E y F; cada posición del satélite en la órbita se identifica por un número. Las posibles posiciones de un satélite de servicio en una órbita son: 1, 2, 3 y 4.

Con la constelación definitiva actualmente (o probablemente aún más nutrida), habrán en cualquier punto y momento entre 6 y 11 satélites observables, con geometría favorable. El tiempo máximo de observación de un satélite es de hasta 4 horas y cuarto, suponiendo que pase por el cenit y que sólo se observe en alturas de horizonte superiores a 15 grados.

2.1.2 Satélites

Todos los satélites llevan paneles solares para recargar los acumuladores de níquel-cadmio de 105 Ah, que permiten el funcionamiento mientras el satélite pasa por la sombra de la Tierra (máximo de una hora diaria cada eclipse), lo que sucede durante algunos días, pero sólo en dos épocas al año. Pueden recibir y guardar información que les es enviada desde centros de control en tierra y transmitir continuamente señales, en función de la información recibida.

Los satélites tienen una serie de antenas emisoras que funcionan en la banda L del espectro, que son las encargadas de enviar a la superficie terrestre las señales que se recibirán. También tienen otra antena emisora-receptora, operando en banda S, para intercambiar información con el centro de control en tierra. Dentro del tema del control del movimiento del satélite, debemos mencionar el llamado *momentum dump*. Las antenas emisoras de los satélites son direccionales, esto es, deben apuntar a donde se desea enviar (o recibir) la emisión: la superficie terrestre. Como el satélite gira alrededor de la Tierra también debe girar alrededor de sí mismo, según un eje perpendicular al plano orbital y a igual velocidad y en el mismo sentido en el que orbita.

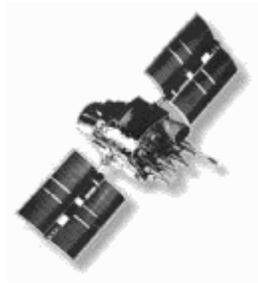
2.1.3 Categorías de los satélites

La red de satélites fue conformada por tres tipos de satélites GPS, los de Block I, Block II, los del Block IIA y IIR.

Los satélites del **bloque I**, experimental, aún parcialmente en servicio, 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 transmiten un **código de configuración** de **000**. Fueron lanzados desde la base de Vandenburg en California entre los años 1978 y 1985 utilizando cohetes Atlas F. Estos satélites 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. Su vida media prevista de 5 años ha sido ampliamente sobrepasada en los que quedan actualmente en servicio.

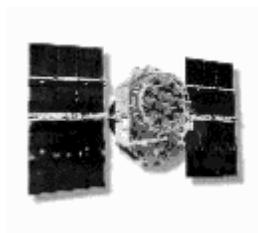
Figura 3 Satélites Bloque I



El **bloque II** es el primer bloque de satélites operativos desarrollados por Rockwell International y se identifican por estar comprendidos entre el **13** y el **21**. Han sido diseñados para proporcionar 14 días de servicio de posicionamiento sin contacto con el Segmento de Control. Estos satélites transmiten un **código de configuración de 001**. 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 cada viaje.

Los satélites de bloque II pesan unos 800 Kg. (más pesados aún los provistos de detectores de explosiones atómicas NUDET (Nuclear Detection)). Llevan dos paneles solares de 7,2 metros cuadrados y 700 vatios de potencia. Todos incorporan osciladores atómicos.

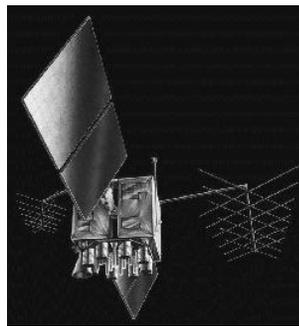
Figura 4. Satélites Bloque II



El **bloque IIA** es una versión evolucionada del **bloque II**, desarrollado igualmente por Rockwell International. Los números de satélite de este bloque están comprendidos entre el **22** y el **40**. 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** (cuyo número identificativo es el 22), 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 lanzarle: El **Delta 2 7925**.

Figura 5. Satélites Bloque IIA



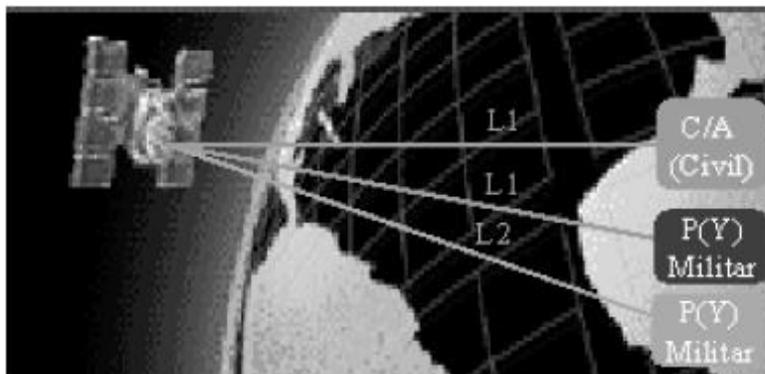
Los satélites del **bloque IIR** sustituyen a los denominados en el proyecto inicial **bloque III**. El **bloque IIR** fue desarrollado por **General Electric** y vienen marcados con los números de satélite que se hallan comprendidos entre el **41** y el **66**. Estos satélites proporcionan servicio 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*).

2.1.4 La señal de los satélites

Los Satélites GPS transmiten dos señales de radio de baja potencia, que se designan como L1 y L2. Los receptores GPS civiles utilizan la señal L1 cuya frecuencia es de 1575.42 MHz en la banda de UHF. Las señales GPS se propagan en línea de vista, lo que significa que son capaces de atravesar nubes, cristal y plástico pero no son capaces de atravesar la mayoría de objetos sólidos como son edificios y montañas. La señal GPS tiene tres diferentes bits de información, un código pseudoaleatorio, un dato efemérico y un dato de almanaque.

El código pseudoaleatorio es simplemente un nº de identificación que identifica el satélite GPS que está transmitiendo la información. Se puede ver este nº en la pantalla de satélites de su receptor GPS, puesto que este identifica que satélite GPS está recibiendo.

Figura 6. Frecuencias



El dato de efeméride es constantemente transmitido por cada satélite GPS, contiene información importante sobre el estatus del satélite GPS, es decir si todo es correcto allí arriba o no. Además manda el día y la hora. Esta parte de la señal es esencial para la determinación de la posición GPS. El dato de almanaque le dice al receptor GPS donde debería estar el satélite GPS en cada momento a lo largo del día. Cada satélite GPS transmite el dato de almanaque mostrando la información orbital para ese satélite y para cualquier otro satélite del sistema GPS.

2.1.5 Identificación de los satélites

La identificación de los satélites se puede hacer por varios sistemas:

- Por el número NAVSTAR (**SVN**), que es el de orden de lanzamiento.
- Por la órbita y la posición que ocupa en ella.
- Por el número de catálogo NASA.
- Por la identificación internacional constituida por el año de lanzamiento, el número de lanzamiento en el año y una letra según el tipo.
- Por el número **IRON** (Integer Range Operation Number), que es un número aleatorio asignado por la Junta de Defensa Aérea Norteamericana **NORAD** de Estados Unidos y Canadá.

Pero fundamentalmente en la técnica GPS los satélites se identifican por su **PRN** o **ruido pseudoaleatorio** (Pseudo **R**andom **N**oise), característico y exclusivo de cada satélite NAVSTAR en particular.

2.1.6 Negación de precisión y acceso

Básicamente existen dos métodos para negar a los usuarios civiles el uso completo del sistema GPS, uno es el SA y el otro es el AS, éstos son activados o desactivados por el DoD.

Disponibilidad de selección (S/A) Cuando en 1973 nació el proyecto que culminó en el GPS, los organismos responsables pensaban que el posicionamiento preciso (**PPS**) ofrecería inéditas precisiones de 10 ó 20 metros en tiempo real. Fue una verdadera sorpresa, desagradable para los diseñadores, descubrir que la precisión esperada en el **PPS** se alcanzaba fácilmente con el posicionamiento estándar (**SPS**), destinado a los usuarios civiles, con receptores sencillos y baratos; el posicionamiento preciso **PPS** resultó ser casi un orden de magnitud mejor de lo esperado. Pero no querían que usuarios no autorizados dispusieran de un sistema de posicionamiento con

precisiones mejores de 100 metros, por lo que tomaron la decisión de degradar la precisión obtenible con el SPS. Esta degradación se denominó **Selective Availability policy** o más genéricamente **SA**, traducible como *disponibilidad selectiva*.

Contra Engaño (A/S) Es el encriptamiento del código de distancia precisa **P**, generando en sustitución el Código **Y**, comúnmente se designa el Código P por P (Y). De esta manera los receptores del Código P, dejan de reconocer el referido código como una señal transmitida por el GPS. En esta situación el transmisor interrumpe el cálculo de la posición o pasa a ofrecerla con resultados absurdos.

2.2 Sistema de control terrestre

Hay cinco estaciones oficiales de seguimiento de la constelación **NAVSTAR**: La estación central o maestra (*Consolidated Satellite Operation Center-CSOC* o Master Control Center) que se encuentra en **Colorado Springs**, exactamente en la base Falcon de la U.S. Air Force. Las otras cuatro estaciones oficiales se denominan *monitor stations* y están situadas en:

- La isla de **Ascensión** (Atlántico Sur).
- La isla de **Diego García** (Océano Índico).
- En **Kwajalein** (Pacífico Occidental).
- En **Hawaii** (Pacífico Oriental).
- Además hay otra estación central de reserva en **Sunnivale** (California), concretamente en la Base Ozinuka de la U.S. Air Force.

La elección de la ubicación de las cinco estaciones oficiales de seguimiento no es casual, sino que se ha buscado que estén regularmente espaciadas en longitud. Además las estaciones tienen unas coordenadas muy precisas. Las estaciones reciben continuamente las señales de los satélites, que emiten en dos frecuencias, mientras estén sobre el horizonte, obteniendo la información necesaria para establecer la órbita de los satélites con alta precisión. Los datos obtenidos por las estaciones se envían al **CSOC**,

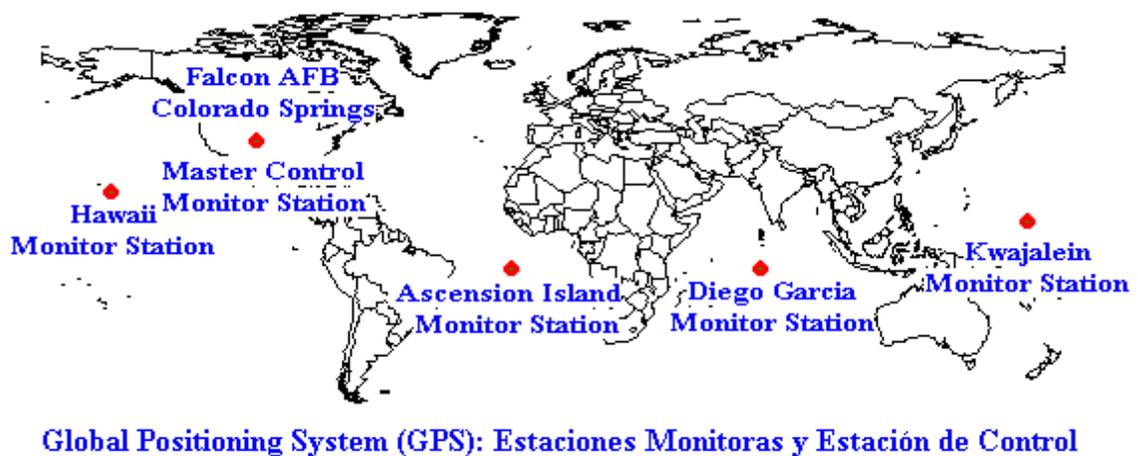
donde son procesados para calcular las efemérides, los estados de los relojes y toda la información a transmitir a los satélites y que estos almacenarán en su memoria.

La transmisión a los satélites de la información mencionada puede ser transmitida por las estaciones de Ascensión, Diego García y Kwajalein. Además estas estaciones tienen capacidad para enviar correcciones de reloj, comandos de telemetría y otros mensajes. Por motivos de seguridad esta transmisión se realiza tres veces al día. Sin embargo es función exclusiva de la **CSOC** la activación de los sistemas de maniobra de los satélites para hacer modificaciones orbitales.

Las efemérides que se emplean para los satélites GPS en cualquier otra parte que no sea una de las estaciones se basan en la extrapolación de las observaciones de las estaciones. Esta extrapolación de las efemérides produce una indeterminación residual mayor en el cálculo de la posición, ya que la precisión alcanzable depende de la exactitud de las efemérides de los satélites.

Además de la red de estaciones antes comentada hay varios organismos que han creado su propia red de seguimiento, como es el caso de la **NSWC** (Naval Surface Weapons Center), el **US National Ionosfér Center** y el **US Geological Survey**. También existe un servicio civil para GPS (**CGPS**) que provee de efemérides precisas.

Figura 7. Sistema de control



Se piensa que el **sector de control** debe evolucionar hacia redes continentales (o mundiales) que se dediquen al seguimiento, junto al conjunto de estaciones ya existente. Una de las funciones más interesantes que se le pueden dar al sector de control es la navegación en tiempo real; para ello es necesario un enlace vía satélite que aporte información de forma continuada.

2.3 Sistema para usuario

El sector de usuario está compuesto por todos los instrumentos que se emplean para el cálculo, mediante el empleo de las señales provenientes de los satélites **NAVSTAR**, de las coordenadas de un punto, adquirir el tiempo de oscilador atómico o para navegación. El equipo propio del sector de usuario está formado por un **receptor** y una **antena**.

2.3.1 Militar

Durante los primeros días del sistema se planeó incorporar un receptor GPS a todos los sistemas mayores de defensa. La visión que se tenía era que cada aeronave, barco, vehículo de tierra y grupo de infantería tendría un receptor GPS apropiado para coordinar sus actividades militares.

De hecho, durante la guerra del golfo Pérsico (1,991) se usaron receptores GPS para planeamiento bajo condiciones de combate. Durante esta guerra se desconectó el **SA** para que las tropas pudieran usar receptores GPS de tipo civil por estar más disponibles. Los receptores de mano de código C/A fueron particularmente beneficiosos para movilizarse en los desiertos sin características topográficas relevantes.

Otra forma de uso que se ha pensado es incluir receptores GPS en satélites con órbita menor a la de los satélites GPS. Estos receptores permitirían posicionar de manera precisa los satélites con menor esfuerzo que con las técnicas actuales de rastreo. Por ejemplo el uso de satélites para imágenes como el SPOT, satélite francés, mejoraría

grandemente si tuviera un receptor GPS para determinar la posición precisa de cada imagen. El GPS de uso militar garantiza un margen de error de 16 metros en las tres posiciones: Latitud, Longitud y Altitud.

2.3.2 Civil

Ocurrió varios años antes de lo establecido. El foco principal en el desarrollo del sistema GPS fue el de receptores GPS para uso de navegación.

El concepto de usar interferometría en lugar de modelo de la solución Doppler significó que el sistema GPS podría ser usado no solamente para determinar líneas-bases de gran longitud para fines geodésicos, sino también para levantamientos topográficos.

A la comunidad civil sólo le está permitido la utilización del sistema GPS. Estándar, existen 2 niveles superiores y cada uno tiene sus propias restricciones. El GPS de uso civil mantiene unos márgenes de error de 100 metros en la posición horizontal y entorno a los 150 metros de error en altitud.

2.3.3 Tipos de receptores GPS

Los receptores GPS cubren las más diversas posibilidades de aplicación de este sistema. Ordenándolos de menor a mayor prestación, se les puede clasificar en:

- Los receptores de navegación.
- GPS Submétricos.
- Los receptores de posicionamiento mono frecuencia
- Los receptores de posicionamiento de doble frecuencia.

Receptores de navegación:

Estos receptores representan la categoría más económica. Son receptores usualmente de tamaño, pequeño y portátiles. Presentan en su pantalla coordenadas geográficas en el sistema WGS-84. Algunos traen también la posibilidad de presentar coordenadas en los sistemas locales. Debe tenerse en cuenta que, debido a que estos

equipos no son aptos para el uso de las técnicas diferenciales (un solo receptor es necesario), la precisión que alcanzan no supera los ± 10 mts. Algunos agregan a las características anteriores la de almacenar en memoria los datos observados de manera de facilitar el procesamiento ulterior de los mismos.

GPS Submétricos:

Son receptores GPS con recepción de las mismas observables que los anteriores, L1 solo código C/A.

La gran diferencia con los anteriores es que ya trabajan diferencialmente, es decir, un equipo de referencia, grabando datos continuamente y el equipo móvil tomando los puntos que deseemos levantar ya sea de modo estático o bien cinemático.

Las precisiones que se pueden conseguir oscilan desde los 30 cm. a los 10 m. dependiendo del tipo de equipo que tome los datos y el programa que los procese.

Las aplicaciones de estos equipos se encuadran en la cartografía y GIS.

Receptores de posicionamiento mono frecuencia:

Estos receptores al igual que los anteriores toman todas sus observables de la portadora L1, pero con la diferencia de que además de tomar medidas de código C/A también realizan medida de fase. También trabajan en modo diferencial, es decir, se necesitan dos receptores tomando medidas simultáneamente, referencia y móvil. La principal ventaja es el aumento de la precisión en el levantamiento de puntos. Con estos equipos se pueden realizar posicionamiento Estáticos, Estático rápido, Stop&Go, cinemático y también es posible trabajar en Tiempo Real con la precisión que proporciona la medida de código. Las precisiones nominales para estos equipos son 1 cm. + 2 ppm, esto nos permite el utilizarlos para aplicaciones Topográficas.

Receptores de posicionamiento doble frecuencia:

Se trata de los equipos de mayor precisión y son los equipos por excelencia para Topografía y Geodesia. Toman observables de ambas portadoras emitidas por los satélites L1 y L2, realizando medidas de Código C/A y P en L1, de Código P en L2 y medidas de fase en L1 y L2. Como se puede apreciar, estos equipos incluyen a todos los anteriores añadiendo las medidas sobre la portadora L2.

Los posicionamientos posibles con estos equipos son: Estático, Estático rápido, Stop&Go, Cinemático y KOF como métodos de post proceso y además la posibilidad de realizar todos éstos en Tiempo Real. La principal ventaja con respecto a los equipos monofrecuencia con medida de fase es un aumento en la precisión hasta 5 mm. + 1 ppm. Y sobre todo una enorme disminución en los tiempos de observación. Las aplicaciones de estos equipos abarcan el mundo de la Topografía y la Geodesia.

Cadenas de Código GPS

El código pseudo-aleatorio transmitido se compone de tres tipos de cadenas:

- El código C/A (*Coarse/Acquisition*), con frecuencia 1.023 MHz., utilizado por los usuarios civiles.
- El código P (*Precision Code*), de uso militar, con una frecuencia 10 veces superior al código C/A.
- El código Y, que se envía encriptado en lugar del código P cuando está activo el modo de operación antiengaños.

Los satélites transmiten la información en dos frecuencias:

- Frecuencia portadora L1, a 1575.42 MHz., transmite los códigos C/A y P.
- Frecuencia portadora L2, a 1227.60 MHz., transmite información militar modulada en código P.

2.3.4 Como funciona el sistema GPS

El sistema GPS funciona en cinco pasos lógicos: triangulación, edición de distancia, tiempo, posición y corrección.

Triangulación: Nuestra posición se calcula con base a la medición de las distancias a los satélites, matemáticamente se necesitan cuatro mediciones de distancia a los satélites para determinar la posición exacta.

Midiendo la distancia: La distancia al satélite se determina midiendo el tiempo que tarda una señal de radio, emitida por el mismo, en alcanzar nuestro receptor de GPS. Para efectuar dicha medición asumimos que ambos, nuestro receptor GPS y el satélite,

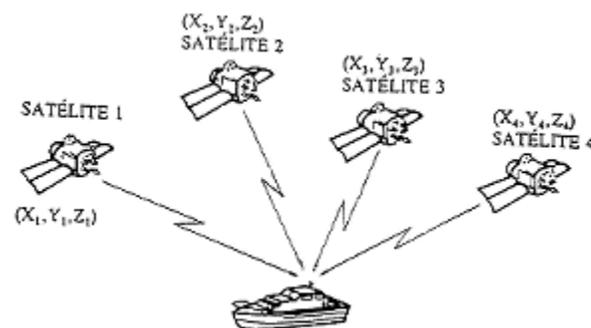
están generando el mismo Código Pseudo Aleatorio en exactamente el mismo momento. Comparando cuanto retardo existe entre la llegada del Código Pseudo Aleatorio proveniente del satélite y la generación del código de nuestro receptor de GPS, podemos determinar cuanto tiempo le llevó a dicha señal llegar hasta nosotros. Multiplicamos dicho tiempo de viaje por la velocidad de la luz y obtenemos la distancia al satélite.

Obtener un Timing Perfecto: Un timing muy preciso es clave para medir la distancia a los satélites. Los satélites son exactos porque llevan un reloj atómico a bordo. Los relojes de los receptores GPS no necesitan ser tan exactos porque la medición de un rango a un satélite adicional permite corregir los errores de medición.

Posicionamiento de los Satélites: Para utilizar los satélites como puntos de referencia debemos conocer exactamente donde están en cada momento. Los satélites de GPS se ubican a tal altura que sus órbitas son muy predecibles. El Departamento de Defensa controla y mide variaciones menores en sus órbitas. La información sobre errores es enviada a los satélites para que estos a su vez retransmitan su posición corregida junto con sus señales de timing.

Corrección de errores: La ionosfera y la troposfera causan demoras en la señal de GPS que se traducen en errores de posicionamiento. Algunos errores se pueden corregir mediante modelación y correcciones matemáticas. La configuración de los satélites en el cielo puede magnificar otros errores. El GPS Diferencial puede eliminar casi todos los errores.

Figura 8. Sistema de Operación



2.4 Coordenadas, Datums y transformaciones

Sistemas de coordenadas:

Se definen como coordenadas a las cantidades lineales o angulares que designan la posición ocupada por un punto en relación a un sistema de referencia. La cantidad de sistemas de coordenadas está en función de la cantidad de sistemas de referencia existentes, pudiéndose encontrar gran variedad, tales como: astronómicas, cartesianas, curvilíneas, geodésicas, geocéntricas, topocéntricas, etc. Las cuales se pueden clasificar en tres sistemas principales que son:

Planas
Esféricas y
Polares

Datums

Los datums son horizontales y verticales.

El datum horizontal- consiste en cinco cantidades: la latitud y la longitud de un punto inicial, el acimut de una línea a partir de este punto, y dos constantes necesarias para definir el esferoide terrestre. Forma la base para el cálculo de los levantamientos de control horizontal en los cuales es considerada la curvatura de la tierra.

El datum de nivelación es una superficie de nivel a la cual son referidas las alturas.

Como dato histórico, se debe mencionar que en los trabajos de la delimitación entre Guatemala y El Salvador y entre Guatemala y Honduras se usó el datum Ocoatepeque, el cual fue sustituido posteriormente por el datum NAD-27.

En los trabajos limítrofes de Guatemala mencionados anteriormente, se utilizó el esferoide (actualmente denominado elipsoide) de Clarke de 1866.

A continuación, se muestra una tabla, conteniendo el nombre de los datums y los parámetros del elipsoide en el que se basan:

WGS-84	Datum = WGS-84	a = 6378137.00
--------	----------------	----------------

		b = 6356752.3142 1/f= 298.257221563
GRS-80	Datum = NAD-83	a = 6378137.00 b = 6356752.3142 1/f= 298.25722101
CLARKE	Datum = NAD-27	a = 6378206.4 b = 6356583.8 1/f= 294.9786982

Los parámetros que sirven para describir la forma tamaño de un elipsoide de revolución son:

- Semieje mayor, al cual se le denomina con la letra “a” denominado radio ecuatorial de la Tierra.
- Semieje menor el cual se le denomina con la letra “b” denominado radio polar de la Tierra.

De los parámetros anteriormente mencionados, se deduce la ecuación siguiente del achatamiento elipsoidal (f):

$$f = (a-b)/a$$

NOTA:

Todas las medidas son en metros

Actualmente, en Guatemala, los mapas están siendo referenciados al NAD-83.

El GPS trabaja en base al WGS-84.

Transformaciones

En mapas de grandes superficies, en los cuales hay que tomar en cuenta la curvatura terrestre, es preciso situar los puntos por sus coordenadas geográficas: latitud, longitud y altura. Las dos primeras se expresan en unidades angulares y la tercera en metros y toma como base u origen el nivel medio del mar.

Los puntos se sitúan con respecto a unas líneas representativas de los meridianos y los paralelos terrestres.

A todo el sistema de representación de estos meridianos y paralelos sobre un plano se le llama proyección cartográfica. El GPS posee un software, adecuado para las transformaciones de las coordenadas de un datum a otro datum.

2.5 Especificaciones horizontales y verticales

En Guatemala no existen especificaciones horizontales y verticales: sin embargo, en esta sección se presentan las usadas en Estados Unidos de Norte América, como una referencia.

Estándares Geométricos Relativos al Posicionamiento para levantamientos tridimensionales usando técnicas de sistema espacial.

Categorías de los levantamientos:

GEODINAMICAS GLOBAL-REGIONAL:

Medidas de deformación:

Orden “A” base (error) 0. 3.

Línea-longitud (error independiente) “p” = 0.01 ppm. “a” = 1:100, 000,000

SISTEMA REFERENCIAL GEODÉSICO NACIONAL, REDES “PRIMARIAS”

GEODINAMICAS LOCAL-REGIONAL:

Medidas de deformación:

Orden “A” Base (error) 0.5.

Línea-longitud (error dependiente) “p” = 0.10 ppm. ‘a”= 1; 10, 000,000

SISTEMA REFERENCIAL GEODÉSICO NACIONAL REDES “SECUNDARIAS”;

CONEXIÓN A REDES, “NGRS PRIMARIAS”, GEODINAMICA LOCAL:

Levantamientos de Ingeniería de Alta Precisión

Medidas de deformación:

Orden “B” Base (error) 0.80.

Línea-longitud (error dependiente) “p” = 1 ppm “a” = 1: 1,000, 000

*SISTEMA REFERENCIAL GEODÉSICO NACIONAL (BASE REDES):
LEVANTAMIENTOS DE CONTROL DEPENDIENTES QUE REÚNAN
CARTOGRAFÍA, INFORMACIÓN TERRESTRE, PROPIEDAD Y REQUISITOS DE
INGENIERÍA.*

Orden "C" Base (error) 1.0

Línea-longitud (error dependiente) "p" = 10 ppm. "a" = 1: 100, 000

3. TÉCNICAS DE LEVANTAMIENTO

3.1 Equipo utilizado

El equipo que se usará en el Levantamiento Topográfico es el que se encuentra disponible en el área de topografía.

Tabla I Equipo utilizado

<i>Equipo utilizado en levantamiento topográfico</i>			
	Topografía GPS		Topografía convencional
2	GPS ProMark 2	1	Teodolito marca
2	Trípode	1	Trípode
1	Jalón	1	Estadal de lectura directa
2	Antena GPS externa	1	Cinta métrica de 30 Mts.
2	Cable de Antena Externa	2	Plomadas
2	Extensión Vertical de la Antena	1	Programa Autocad
2	Abrazadera de Terreno (Bracket)	1	Cinta Métrica
2	Cinta Métrica		
2	Bolso de Terreno		
1	Abrazadera para Oficina, con Cable de Transferencia de Datos		
1	Software de Post-Proceso Ashtech		

3.2 Normas de precisión del equipo

En las técnicas de medición mediante GPS pueden considerarse dos contribuciones diferentes al error esperado que empeoran la estimación final de la posición: **UERE** (que considera únicamente el error que se está produciendo en el cálculo de la distancia al satélite) y **DOP** (que está considerando la influencia que en el error final de posición está teniendo la configuración espacial de los satélites y el

usuario), siguiendo la normalización propuesta por *Paradisis* y *Wells*. El error total se obtiene como el producto de ambas contribuciones.

UERE

El **error equivalente en la distancia al usuario** o UERE es la contribución al error en la medida de la distancia producida por una sola fuente de error, suponiendo que la fuente de error no está correlada con otras fuentes de error.

Estas fuentes de error mencionadas que afectan a las observaciones GPS se conocen como **errores sistemáticos**, que pueden dividirse en tres categorías:

- *Errores sistemáticos en los satélites*; son debidos a un conocimiento deficiente de su órbita, esto es, errores en las efemérides transmitidas y a posibles irregularidades en los relojes, tanto de estado como de marcha.
- *Errores sistemáticos en la estación*; son debidos a los relojes de los receptores y a un posible desconocimiento de unas coordenadas aproximadas correctas de la estación, imprescindibles para la linealización de las relaciones de observación.
- *Errores sistemáticos debidos al medio* en que se propaga la onda electromagnética son el retardo ionosférico y el troposférico, y de la propia onda electromagnética, la ambigüedad en el conteo de ciclos.

El valor del error producido por el UERE es diferente según se emplee el código C/A o el código P, en algunas fuentes individuales de error (como la compensación del retraso ionosférico), en otras fuentes el valor es el mismo.

Tabla II. Comparación de precisión estimada con GPS y sistema de satélites GLONASS

Posiciones estimadas con GLONASS

-Error horizontal (m)	10 (50%)
	21.2 (95%)
	26.8 (99%)
-Error vertical (m)	14.6 (50%)
	39.1 (95%)
	46.3 (99%)

Posiciones estimadas con GPS

-Error horizontal (m)	20.6 (50%)
	48.4 (95%)
	62.9 (99%)
-Error vertical (m)	26.7 (50%)
	81.7 (95%)
	105.1 (99%)

Posiciones estimadas con la combinación GPS/GLONASS

-Error horizontal (m)	6.5 (50%)
	14.9 (95%)
	25.8 (99%)
-Error vertical (m)	16.7 (50%)
	41.8 (95%)
	49.5 (99%)

Las precisiones del equipo que se utilizara se basan en parámetros de diseño de los fabricantes, así como el modelo de aparato que se utilice.

GPS ProMark 2

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Rastreo Satelital

- 12 canales GPS y WAAS/EGNOS Independientes
- Código L1 C/A y portadora de longitud de onda completa

Especificaciones de Precisión

Medición Estática (1) (rms)

- Horizontal: 0.005 m + 1 ppm
- Vertical: 0.010 m + 2 ppm
- Azimut: <1 arco segundos
- Tiempo de Observación: Rangos de 20 a 60 minutos, dependiendo de la distancia entre

receptores Promark2 y otros factores ambientales (1)

Rendimiento en Tiempo Real con WAAS (rms)

- Horizontal: < 3 m c/ProAntenna de Ashtech
- 5 m c/antena interna
- Tiempo de observación: 1 segundo

Características Físicas

Peso

- Receptor: 0.14 Kg.
- Antena Externa: 0.45 Kg.

- Baterías: 0.05 Kg.

Tamaño

- 19 cm x 9.6 cm

Interfase del Usuario

- Pantalla: 5.6 cm x 3.4 cm
- Resolución de Pantalla: 104 x 160 píxeles
- Teclado: 12 botones
- Comunicaciones: Puerto RS232 para interfase PC de 2400 - 115,200 baud

Características de Alimentación

Alimentación

- Tipo de Batería: 2 baterías AA internas
- Duración de Batería: Hasta 8 horas con baterías alcalinas (25°C)
- Puerto de alimentación externa, para un tiempo extendido de operación

ProAntenna de Ashtech

- Temp. de Operación.: -55°C a 85°C
- Clima: A prueba de agua
- Resistencia a Golpes: Caída de 2 m sobre

Accesorios Opcionales del Sistema

- Pack de baterías externas
- Abrazadera para vehículo
- Trípode
- Jalón
- Tribach y adaptador Tribach
- Trípode GPS de altura fija

Ashtech Solutions™

Software de post-proceso que proporciona un procesamiento de los datos, preciso y simple, dentro de una interfase amigable de

Windows. Las funciones claves del software son:

- Planificación de la Misión
- Procesamiento de Datos

Concreto.

Características de Registro de Datos

Intervalo de Grabación

- 1-30 segundos

Capacidad de Memoria Interna

- 8 MB
- Almacena hasta 72 horas de datos de 10 satélites a intervalo de 10 seg.

Configuraciones del Sistema

Configuración Estándar

- Sistema de dos receptores ProMark2
- Un software de Post-Proceso Ashtech Solutions

Accesorios Estándar del Sistema

- Bolso acolchado para terreno
- Dispositivo de medición de altura de instrumento
- Abrazadera para el receptor en terreno
- Barra inicializadora cinemática
- Guías del usuario
- Tarjeta de referencia
- Software Ashtech Solutions (L1)

- Ajuste de la red a través de mínimos cuadrados
- Análisis de datos y herramientas de control de calidad.
- Transformación de coordenadas
- Reporte
- Exportación

Requerimientos Ashtech Solutions

- Windows 95 / 98 / ME / NT 4.0 o posterior / 2000
- Pentium 133 o superior
- 32 MB RAM
- 90 MB de espacio en el disco, para instalación.

Topografía convencional

Las precisiones de este equipo son las ofrecidas por el fabricante y sus respectivos manuales. El equipo utilizado presenta los siguientes valores:

Desviación Típica: 10 segundos

Desviación usual: 20 segundos

Todos los trabajos relacionados con agrimensura en Guatemala están regidos por el **Decreto 1786, Ley Reglamentaria para Trabajos de Agrimensura***.

3.2.1 Tolerancia de cierre angular

Esta sección está basada en la Ley de Agrimensura, capítulo III, Artículo 35, que determina que el Error Angular Máximo de Cierre en un polígono cerrado depende del tipo de terreno y las condiciones favorables o desfavorables que dificultan efectuar la medición. Los trabajos se clasifican en: *trabajos de difícil medición* y *trabajos de fácil medición*

Trabajos de fácil medición:

Error angular tolerable: $e = a \cdot \sqrt{n}$

Trabajo de difícil medición:

Error angular tolerable: $e = a/2 \cdot \sqrt{n}$

Donde: a = aproximación del aparato en segundos o minutos.

N = número de estaciones del polígono.

El error angular tolerable según el tipo de terreno, deberá ser mayor o igual que el error de cierre angular del polígono, el cual dependerá del método de levantamiento empleado. Los errores de cierre angular según el tipo de levantamiento topográfico que se emplee se presentan en el siguiente cuadro:

* La ley del RIC, tiene vigencia en 20 municipios que equivalen a 1/3 del territorio nacional.

Tabla III Errores de cierre angular según levantamiento topográfico

Tipo de levantamiento topográfico	Error de cierre angular	Error angular tolerable
Conservación de acimut	acimut de salida = acimut de llegad	$\leq a * \sqrt{n}$ $\leq a/2 * \sqrt{n}$
Deflexiones	Suma de deflexiones derechas – suma de deflexiones derechas = 360°	$\leq a * \sqrt{n}$ $\leq a/2 * \sqrt{n}$
Ángulos internos	suma de ángulos internos = 180° * (n-2)	$\leq a * \sqrt{n}$ $\leq a/2 * \sqrt{n}$
Triangulación	suma de ángulos = 180° para cada triángulo	1 minuto ó 1 segundo para cada ángulo

3.2.2 Tolerancias de cierre en distancias

El error permisible para un polígono cerrado está regido por el capítulo III, artículo 35 de la Ley de Agrimensura, el cual clasifica las tolerancias para cierre en distancias dependiendo de las condiciones del terreno en de fácil y difícil medición.

Trabajos de fácil medición:

Error de abertura de lo medido en rumbo y distancia en terreno de fácil medición por unidad de medida.

$$\text{Error unitario } Eu \leq 0.003$$

Trabajos de difícil medición:

Error de abertura de lo medido en rumbo y distancia en terreno de difícil medición por unidad de medida.

$$\text{Error unitario } Eu \leq 0.005$$

3.3 Inspección previa para el levantamiento del Sistema Global de Posicionamiento

En el Sistema Global de Posicionamiento (GPS) no es necesario que los vértices sean visibles uno con otro la visibilidad se relaciona entre el receptor terrestre (GPS) y los satélites que orbitan en el espacio.

OBSERVACIONES DE CAMPO

❖ Estación de Referencia

La Topografía GPS es una técnica diferencial, que implica cálculo de líneas-bases entre el receptor referencia, y el receptor itinerante. Como habrá muchas líneas bases medidas desde cada estación de referencia, la elección de estas estaciones es de particular importancia.

Los lugares para las estaciones han de ser elegidos en orden a que se ajusten a observaciones GPS. Un buen emplazamiento debe cumplir las siguientes características:

- No deben existir obstrucciones por encima de 15° sobre el horizonte.
- No deben haber en los alrededores superficies que puedan reflejar y producir efectos multicamino.
- Deben estar alejadas de lugares de tránsito, si es necesario se debería poder dejar el receptor sólo y desatendido.
- No deben encontrarse en los alrededores emisores potentes antenas TV, radio, etc.

Los resultados para todos los puntos itinerantes dependerán de la coyuntura en la que se encuentre el receptor de referencia. Por tanto éste debe tener el funcionamiento asegurado.

- Asegurado el suministro de energía.
- Asegurada la capacidad de almacenamiento de información.

- Asegurada la posición de la antena.
- Asegurada la configuración y parámetros de recepción del receptor, coincidentes con los de los receptores itinerantes.

Hay que señalar que el receptor no tiene por qué estar en un punto conocido. Es preferible usar Estaciones de Referencia que cumplan las condiciones técnicas expuestas antes que usar vértices conocidos con condiciones deficientes.

Los puntos para calcular la transformación de WGS-84 al Sistema Local han de ser incluidos en la red de trabajo, y pueden ser observados con los receptores itinerantes.

❖ **Observación de puntos con el receptor itinerante**

Es de particular importancia para Estático Rápido asegurar ciertas condiciones:

- Asegurar que los parámetros de la misión han sido correctamente establecidos, y coinciden con los del receptor itinerante.
- Comprobar la altura de la antena.
- Prestar atención al GDOP cuando se observe durante poco tiempo. Para obtener precisiones de 5 – 10 mm. + 1 ppm. Sólo observar con GDOP menor de 8. También hay que evitar observar en las ventanas en las que GDOP cambia rápidamente, pues indican cortos y ocultos de satélites e implican pérdidas de cuenta en ciclos.
- Es mejor esperar a que GDOP se estabilice y medir entonces.
- Es interesante rellenar hojas de campo de cada punto observado con parámetros y comentarios que faciliten la detección e identificación de posibles errores en gabinete.

3.3.1 Planteamiento del levantamiento

GDOP

Ayuda a valorar la geometría de la constelación de satélites. La precisión es tanto mayor cuanto menor sea el valor del GDOP.

Se puede comparar un valor del GDOP desfavorable con el círculo peligroso de la Trisección Inversa. Se producirán soluciones “débiles”. Para el método Estático Rápido lo ideal es que esté en torno a un valor de 5 y en ningún caso ha de exceder de 8.

Selección de ventanas de observación favorables

Usando un software de planificación, estudiaremos la jornada de trabajo y buscaremos ventanas en las que, sin tener en cuenta los satélites que estén por debajo de 15°, cuyas señales van a llegar muy afectadas por la refracción atmosférica, el valor de GDOP no exceda 8.

Hay que tener en cuenta los obstáculos que rodeen los puntos donde observar, pues pueden causar la pérdida de la señal de algún satélite o generar efectos multicamino. En caso de que exista esta posibilidad tendremos en cuenta, en la planificación la posibilidad de no recibir la señal del satélite en cuestión.

3.3.1.1 Información necesaria

- **Necesidad de conocer un punto WGS-84**

El cálculo de una línea base requiere conocer las coordenadas de un punto de referencia perfectamente. Las coordenadas del otro punto (Rover) se calculan relativas al punto fijado como referencia.

Para que el software de post-proceso pueda resolver correctamente las ambigüedades, las coordenadas WGS-84 de la referencia han de conocerse con un margen de 50 m., si fuera posible con 20 m. para no introducir errores de escala de 1 a 3 ppm.

En caso de no ser disponibles las coordenadas WGS-84 de algún o algunos puntos, se puede usar el Posicionamiento de Navegación, pero hay que tener cuidado, pues unas condiciones técnicas deficientes y la posibilidad de que esté activa la Disponibilidad Selectiva pueden degradar las coordenadas obtenidas. Una posibilidad puede ser usar el Posicionamiento de Navegación en intervalos de 15 minutos.

- Además se especifica el día y el intervalo de tiempo del que se necesita información, el Programa permite hacer la planificación cada 24 horas, es decir que si se necesitara más de un día de trabajo se tendrá que realizar para cada día, además, la zona horaria en relación al meridiano de Greenwich (el programa utiliza el tiempo universal UTC = GMT , para tener el tiempo local de Guatemala se le restan al tiempo universal 6:00 horas, el sumarle o restarle al tiempo universal depende de la posición geográfica de la región a estudiar, o sea de su zona horaria) y la elevación mínima en relación a la horizontal para que el programa ignore el o los satélites que se encuentren en ese rango (para este caso se utilizó la elevación mínima de 15°, es decir, mientras cualquier satélite permanezca bajo esta elevación no será registrado por el programa).

3.3.1.2 Descripción

Los programas ofrecen como resultado una serie de gráficas, dependiendo de los requerimientos las gráficas más útiles son: satélites visibles contra el tiempo, número de satélites visibles contra el tiempo, satélites visibles más **pdop** contra el tiempo. La forma de interpretación de cada una de las gráficas se detallara a continuación:

3.3.1.3 Satélites visibles contra el tiempo

Cada barra corresponde a un satélite con el número que lo identifica, el cual aparece en la gráfica en el intervalo de tiempo en el que es visible para las coordenadas utilizadas como referencia.

Cada barra corresponde a la cantidad de satélites en un intervalo de tiempo específico, los manuales y especialistas recomiendan para realizar una toma de lecturas con un mínimo de 5 satélites, es por ello que esta gráfica es un factor importante para decidir el ó los intervalos de tiempo para una mejor toma de lecturas.

Esta gráfica es la más importante para la planificación ya que encierra información del número de satélites, descrita en la parte anterior inmediata y agrega el comportamiento del **pdop** en cada intervalo de tiempo, el pdop es un factor que mantiene una relación directamente proporcional a la calidad y a la precisión de las mediciones o resultados.

Además presenta un listado que incluye las diferentes combinaciones de satélites (constelaciones) con sus respectivos tiempos de inicio, de finalización, intervalo de duración, pdop al inicio y al final de cada combinación.

3.4 Descripción del área del levantamiento

Selección del terreno

La selección del terreno apropiado para la ejecución de la toma de datos GPS es determinante para el éxito de su medición. No todos los lugares son apropiados para la toma de datos. El sistema GPS depende de la recepción de señales de radio transmitidas por satélites a aproximadamente 21.000 Km. de la tierra. Estas señales, relativamente de alta frecuencia y baja potencia, no son muy efectivas en penetrar objetos que obstruyen la línea visual entre los satélites y el receptor GPS. Virtualmente, cualquier objeto que esté en la ruta entre el receptor GPS y los satélites, será perjudicial para la operación del sistema. Algunos objetos, como los edificios, bloquearán completamente las señales de los satélites. Por lo tanto, el GPS no puede ser usado en recintos cerrados. Por la misma razón, el sistema GPS no se puede utilizar en túneles o bajo el agua. Otros objetos obstruirán parcialmente o reflejarán/refractarán la señal, como los árboles. La recepción de las señales GPS es muy difícil en áreas fuertemente forestadas. En algunos casos, se puede observar una señal suficiente para calcular una posición aproximada. Pero, virtualmente, en cada caso la señal no es lo suficientemente clara para producir posiciones a nivel centimétrico. Por lo tanto, el GPS no es efectivo en el bosque.

Esto no quiere decir que su sistema de medición ProMark2 sólo se puede utilizar en áreas de un cielo ampliamente abierto. GPS puede ser usado efectiva y precisamente

en áreas parcialmente obstruidas. La clave es ser capaz de observar, en cualquier momento dado, satélites suficientes para calcular una posición precisa y fiablemente. En cualquier momento y en una ubicación dada, puede haber 7 a 10 satélites visibles y disponibles para su uso. El sistema GPS no requiere tantos satélites para funcionar. Las posiciones precisas y fiables se pueden determinar con 5 satélites apropiadamente distribuidos en el cielo. Por lo tanto, una ubicación obstruida se puede medir si se observan al menos 5 satélites.

Esto hace que sea posible el uso del GPS a lo largo de una línea de árboles o contra la fachada de un edificio, pero sólo si esa ubicación deja suficiente cielo abierto para permitir que el sistema observe al menos 5 satélites. Por las razones expuestas anteriormente, haga todos los esfuerzos para ubicar puntos nuevos para establecer en áreas donde hay un mínimo de obstrucciones. Lamentablemente, la ubicación de la estación no siempre es flexible. Usted puede necesitar determinar la posición de un punto existente donde obviamente, la ubicación no es debatible. En situaciones donde un punto existente está en un área fuertemente obstruida, usted puede estar obligado a establecer el desplazamiento de un punto nuevo desde el punto existente, o preferentemente desde un par de puntos intervisibles, y trazar convencionalmente hacia el punto necesario, para establecer su posición.

Tenga en cuenta que las obstrucciones en un lugar de toma de datos GPS, afectarán el tiempo de observación requerido para determinar en forma precisa su ubicación. Las áreas obstruidas requerirán tiempos de observación más prolongados. La función del Temporizador de Observación de ProMark2, automáticamente extenderá los tiempos de observación en los lugares de obstrucción, pero en algunos casos, puede que no los extienda lo suficiente. Usted tendrá que utilizar su propio juicio para establecer el tiempo de observación, cuando mida en áreas obstruidas. El tiempo mejorará la experiencia.

3.5 Instalación del equipo de campo

Instalación del Sistema

Ahora que se ha identificado la estación de medición, es tiempo de instalar el sistema receptor ProMark2 sobre el punto a medir. El procedimiento de instalación se ilustra a continuación.

1. Instale una combinación de trípode/Base Nivelante sobre el punto de medición. Esto se hace precisamente de la misma forma que se hace para una estación total convencional. Si utiliza un trípode de altura fija para GPS, no requerirá el Base Nivelante.
2. Ponga la barra de extensión vertical y un adaptador para Base Nivelante a la antena GPS. Con la antena GPS en la mano, ponga la barra de extensión vertical incluida al hilo de 5/8-11 de la antena. Ponga el adaptador para Base Nivelante al otro extremo de la barra de extensión vertical. La Figura 9 muestra las piezas individuales. El ensamblaje deberá reflejarse según se muestra en la Figura 10. Si está utilizando un trípode de altura fija para GPS, y no un trípode convencional, no se requiere un adaptador para Base Nivelante.

Figura 9 Antena GPS, barra de extensión vertical, ensamble adaptador para base nivelante



3. Ponga el ensamble de la antena en el trípode. Tenga cuidado de no desestabilizar el trípode cuando monte el ensamble de la antena. La Figura 10 muestra cómo se vería la instalación hasta este punto.

Figura 10. Antena GPS montada en trípode utilizando base nivelante y extensión



4. Ponga el receptor ProMark2 en la abrazadera para terreno. Con la abrazadera para terreno en la mano, ponga la base del receptor ProMark2 en el marco y luego incline el receptor para ponerlo en su lugar, según se ve en la Figura 11.

Figura 11 Montaje de ProMark2 en la abrazadera de terreno.

Gancho de Retención



Gancho Ajustado



5. Ponga la combinación abrazadera de terreno / ProMark2 en el trípode. Tenga cuidado de no desestabilizar el trípode cuando monte la abrazadera. Ponga la abrazadera a una altura cómoda para la operación del receptor, Figura 12.

Figura 12 Abrazadera de terreno en trípode



6. Conecte el cable de antena GPS. En la antena GPS, atornille el conector del cable de antena hasta que la conexión esté bien sujeta. Conecte el otro extremo del cable a la parte trasera del receptor ProMark2. Esta conexión se realiza simplemente presionando el conector a la parte trasera del receptor. La Figura 13 muestra la conexión apropiada del cable de antena a la antena y al receptor.

Figura 13 Conexión de cable de antena en antena y en receptor



7. Mida y registre la altura del instrumento (HI) de la antena GPS. La antena GPS es el punto de toma de datos para las observaciones GPS, esto significa que la posición calculada para el punto, horizontal y verticalmente, será la ubicación de la antena GPS. Es por esta razón que, la antena está precisamente ubicada sobre el punto a medir. Incluso la ubicación para el punto a medir no está al centro de la antena, sino debajo de ella, en el suelo. La cinta métrica para medir la altura del instrumento es la herramienta que usted utiliza para medir la altura de la antena GPS. Extienda la cinta métrica hasta la marca, poniendo el punto al extremo de la cinta métrica en la marca. Asegure la cinta métrica en el lugar, y vea cuánto mide. La Figura 14 ilustra este proceso. Es bueno practicar la lectura y registro de la altura del instrumento en metros y pies. Esto le ayudará a reducir errores de registro de altura de instrumento.

Figura 14 Midiendo altura de instrumento



3.6 Técnicas de levantamiento

3.6.1 Método estático

ESTÁTICO

Este método se utiliza para distancias largas (por lo general mayores de 20 km.) y las más alta precisión. Es la medición clásica de líneas bases.

Consiste en estacionar dos receptores o más en los puntos los cuales queremos conocer sus coordenadas, almacenar datos y calcular las coordenadas en tiempo diferido.

En este tipo de posicionamiento se obtienen soluciones tan redundantes como deseemos, tan solo deberemos prolongar la observación.

*E.M.C. de una línea-base: $3\text{mm} \pm 0,5 \text{ ppm}$.

*Método estándar para distancias superiores a 20 km.

- Precisión de milímetros en líneas-base cortas.

Tendremos que recordar que las coordenadas que se obtienen están referidas al elipsoide WGS-84 como recordamos tendremos que incluir en la medición de esta triangulación, al menos 3 puntos de coordenadas conocidas en el sistema donde queramos dar nuestras coordenadas, que por lo general, serán UTM.

Aplicaciones:

- *Control Geodésico
- *Redes nacionales e Internacionales
- *Control de movimientos tectónicos

Ventajas:

- 1) Más preciso, eficiente y económico que los métodos topográficos tradicionales.
- 2) Sustituye al método clásico de triangulación.

ESTÁTICO RÁPIDO

Las distancias máximas que pueden existir entre la referencia y el móvil es de 20 km.

La máscara de elevación que se introduce es, como se ha comentado anteriormente, de 15° de elevación y las épocas de 15 segundos (intervalo de registro de datos, varía de 1 segundo hasta 60 segundos).

- * Estacionamiento de una estación de referencia temporal: observa y almacena datos de todos los satélites a la vista continuamente.
- * El receptor móvil se estaciona en el punto que se pretenda levantar.
- * Estaremos en el punto el tiempo que nos indique las tablas en función del número de satélites, distancia a la referencia, GDOP, etc.
- * Los tiempos breves de observación posibilitan una precisión de 5 a 10mm. \pm 1 ppm. (EMC).
- * Los tiempos de observación son: de 5 a 10 minutos para distancias inferiores a 5 km.

Aplicaciones:

- Levantamientos de control, densificación.

- Sustituye al método clásico de poligonación.
- Determinación de puntos de control, Ingeniería Civil, bases de replanteo.
- Levantamiento de detalles y deslindes.
- Cualquier trabajo que requiera la determinación rápida de un elevado número de puntos.
- Apoyos fotogramétricos.

Ventajas:

- 1) Sencillo, rápido y eficiente comparado con los métodos clásicos.
- 2) No requiere mantener el contacto con los satélites entre estaciones.
- 3) Se apaga y se lleva al siguiente punto.
- 4) Reducido consumo de energía.
- 5) Ideal para un control local.
- 6) No existe transmisión de errores ya que cada punto se mide independientemente.

Inconvenientes:

No se puede utilizar en zonas de población, cerca de edificios, debido al efecto multipath y en general en zonas que nos impidan recibir cuatro o más satélites.

Este método de posicionamiento se puede utilizar simultáneamente con el estático, realizando la triangulación con método estático y la densificación con el estático rápido, tal como se muestra en la figura.

El tiempo de observación depende de los siguientes factores:

- Longitud de la línea-base.
- Número de satélites.
- Geometría de los satélites, GDOP.
- Ionosfera. Depende de los disturbios de la ionosfera, día/noche.
- Mes, año, posición sobre la tierra.

Tabla IV Comparación de método estático y estático rápido

No. De satélites GDOP ≤ 8	Longitud de la línea base	Tiempo de observación DIA	Tiempo de observación NOCHE
Estático Rápido			
4 ó 5	menos de 5 km.	de 5 a 10 min.	5 min.
4 ó 5	de 5 a 10 km.	de 10 a 20 min.	de 5 a 10 min.
4 ó 5	de 10 a 15 km.	alrededor de 30	de 5 a 20 min.
Estático			
4 ó 5	de 15 a 30 km.	de 1 a 2 horas	1 hora
4 ó 5	más de 30 km.	de 2 a 3 horas	2 horas

REOCUPACIÓN

Este método se utiliza cuando la situación para la observación no es del todo idónea, es decir, no tenemos 4 satélites como mínimo, o bien, el GDOP es superior al permitido 8.

Este método es muy útil cuando el método estático rápido no es posible realizarlo.

Se realiza de la misma manera que el estático rápido pero estacionando en el punto dos veces, con una diferencia en el estacionamiento en el punto de una hora. La razón de hacerlo con una hora de diferencia es por que de esta manera aseguramos que vamos a recibir al menos 3 satélites. Lo que hace el software es sumar de una y otra observación y lo calcula como si fuese una sola observación.

Alta precisión en dos pasos:

- * Estación de referencia temporal: rastrea continuamente.
- * Receptor móvil: ocupa cada punto por breves minutos.
- * Reocupación después de al menos 1 hora de espera.
- * El software SKI combina las observaciones.
- * Precisión de una línea-base: 5 a 10 mm. + 1ppm.

Aplicaciones:

Las mismas que el estático rápido.

Ventajas:

- 1) La precisión depende menos de la constelación de satélites que en el modo estático rápido.
- 2) Buenos resultado con solo 3 satélites.
- 3) Método ideal cuando las condiciones dadas no son adecuadas para el estático rápido o cuando por obstrucciones se reduce el número de satélites disponibles.

3.6.2 Método cinemático

El receptor de referencia se estaciona siempre en posicionamiento estático, el que se mueve es el receptor móvil.

CINEMÁTICO

Como hemos dicho anteriormente, el de referencia siempre estará estático. El móvil se inicializará de dos formas, con estático rápido, o bien partiendo de un punto conocido.

Las épocas a cadencia de toma de datos se realizarán en función a la cantidad de puntos que queremos levantar.

Se dice que el mínimo de satélites que tenemos que tener sobre el horizonte es de 5, ya que de está forma podremos perder un satélite en el transcurso de la operación de medición. El valor del GDOP nunca debe exceder 8, aunque para obtener una buena precisión el valor debería ser cinco o menos.

Medición de trayectorias y de objetos en movimiento

- Estación de referencia temporal: Rastrea continuamente.
- Estación móvil en un vehículo, embarcación, plataforma, etc.

- Antes de desplazarlo, algunos minutos de observación estática en el punto inicial para determinar las coordenadas de salida u ocupar un punto de coordenadas conocidas durante 2 segundos.
- Mediciones en intervalos preseleccionados.
- Precisión de una línea-base:
 - 1 a 3 cm. + 1 ppm. (EMC) posición.
 - 2 a 3 cm. + 1 ppm. Altimetría

Aplicaciones:

- Determinación de la trayectoria de objetos en movimiento.
- Levantamientos de ejes de carreteras y ferrocarriles.
- Medición de perfiles transversales.
- Levantamientos hidrográficos, batimetría.

Ventajas:

- 1) Mediciones continuas rápidas y económicas.
- 2) Debe mantenerse el contacto con los satélites.

STOP AND GO

Es un tipo de estacionamiento muy parecido al cinemático, la diferencia principal es que aquí realizaremos una parada para levantar el punto en cuestión, nos detendremos durante 2 épocas (10 segundos por lo normal) almacenamos la información del punto (nombre, atributo, etc.) y seguiremos sin perder señal de los satélites, hacia el siguiente punto.

El método para inicializar este posicionamiento es igual que para el cinemático. Bien con un punto conocido, o partir de un punto con un estático rápido, luego mantendremos durante la observación el seguimiento sobre los satélites.

La antena ha de ir lo más vertical posible, con el fin de no perder la señal de los satélites.

En el caso de perder señal de los satélites deberemos comenzar una nueva cadena.

Es el método ideal para levantamientos:

Estación de referencia temporal. Colocaremos la estación de referencia en un punto recibiendo datos cada 5 segundos con método estático.

Receptor móvil: se comenzará con la inicialización de la cadena con pocos minutos de observación (de 5 a 10 minutos, si no conocemos las coordenadas del punto y 30 segundos si ya se ha observado previamente el punto).

* Durante el cambio de estación debe mantenerse el contacto con los satélites.

* Se para solo dos épocas (10 segundos) en los puntos 2, 3, 4... n.

* Precisión de línea-base: 1 a 2 cm. + 1 ppm.

Aplicaciones:

- Levantamientos de detalles e Ingeniería Civil
- Levantamientos de carreteras, conductos, fronteras.
- Modelos digitales del terreno.
- Medición de puntos situados en un espacio reducido.

Ventajas:

- 1) Rápido y económico.
- 2) El método más rápido para levantar puntos de detalle con GPS.
- 3) Puede emplearse mientras se camina o se desplaza en vehículo.

RTK (Real Time Kinematic)

Esta es la última innovación en las técnicas de medida GPS. Consiste en obtener coordenadas en tiempo real en el sistema de referencia adoptado previamente.

En la actualidad, la topografía con métodos de medición GPS está cada vez más arraigada y comienza a sustituir a los métodos clásicos de medición, como por ejemplo redes locales, triangulaciones, apoyos fotogramétricos, bases de replanteo, etc. Todo esto ha sido gracias al desarrollo de técnicas introducidas en los últimos cinco años y

explicadas anteriormente. Debido a que la constelación de se ha completado con 24 satélites es posible llevar a cabo posicionamientos en los que las condiciones de cobertura son más estrictas, de esta manera tenemos una cobertura de 24 horas al día en cualquier parte del mundo.

Todos los avances tecnológicos efectuados en las técnicas de medición GPS se dirigen hacia estar el menor tiempo posible en la toma del punto y tener el resultado en el propio campo. Hasta ahora este tipo de trabajo quedaba reservado a los métodos clásicos (Estaciones Totales). Sin embargo mediante el Tiempo Real en el GPS, podremos utilizar éste de manera similar a una Estación Total: Obtención de coordenadas al instante con precisión de 1 cm. + 2 ppm. Esto quiere decir que podremos utilizar nuestro equipo GPS para métodos de replanteo.

RTK: Descripción del sistema

Dejando a buen recaudo el equipo de referencia, podremos decir que es un sistema que necesita un solo operador. Con la gran ventaja añadida de poder trabajar a grandes distancias de la referencia, es decir, tan lejos como la cobertura de radio nos permita. Y por lo tanto, evitar perder tiempo en la tediosa tarea de los cambios de estación, propio de un método de medición clásica, en el que la íntervisibilidad es imprescindible.

Por otra parte, debemos de tener en cuenta, que es posible trabajar en la misma área, simultáneamente y de forma independiente, varias estaciones móviles, apoyándose de esta manera sobre la misma referencia.

La técnica GPS en tiempo Real resulta particularmente atractiva en aplicaciones donde se han de medir y replantear cientos o miles de puntos en áreas relativamente pequeñas y abiertas.

Equipo GPS de referencia:

- El receptor de referencia captará todos los satélites a la vista.
- El receptor envía los datos observados Radio-módem.
- El radio-módem transmitirá todos los datos observados al equipo/s móvil/es.

Figura 15 Receptor de referencia

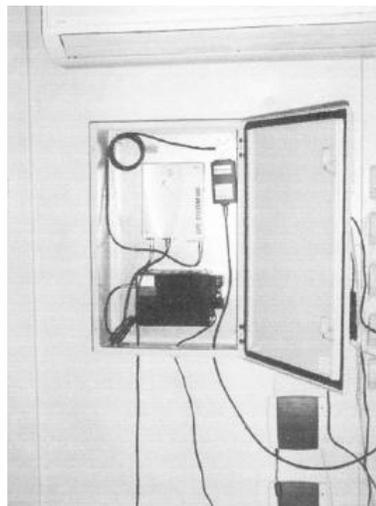


Figura 16 Radio-módem



Receptor móvil:

- El Radio-Módem recibirá los datos enviados por equipo de referencia.
- El receptor móvil buscará todos los satélites a la vista.
- El receptor trabaja y calcula con los datos de su posición más la información recibida de la referencia.
- Fijas las ambigüedades de todos los satélites comunes. Con las técnicas actuales, este proceso no supera los 10 segundos.
- El receptor calcula las coordenadas de su posición y las muestras con un control de calidad asociado. A partir de fijar las ambigüedades, el equipo proporciona posición precisa a un intervalo de hasta 0.10 segundos.

Figura 17 Receptor móvil



3.7 Procesamiento de datos

Los datos crudos tomados por el receptor deben ser procesados para determinar la relación diferencial entre las estaciones ocupadas durante la toma de datos. El resultado del procesamiento de estos datos crudos GPS es un vector definiendo esta relación. El cálculo de estos vectores es la función principal del módulo de Procesamiento de Datos de Ashtech Solutions. El módulo de Procesamiento de Datos analiza automáticamente la calidad de los archivos de datos crudos y ajusta los parámetros de procesamiento para producir el mejor vector posible, transfiriendo la mayor parte del trabajo de procesamiento del usuario al software de procesamiento. En

Ashtech Solutions, el procesamiento actual de sus datos está limitado a la simple presión del botón **procesar**, confiando de que obtendrá el mejor resultado.

Los datos GPS son procesados en 3 pasos:

Análisis de datos de pre-proceso—Las propiedades de estación y observaciones; tales como: identificadores de estación, parámetros de altura de antena e información de control de punto son verificadas y/o registradas.

Procesamiento—Presionando un botón, usted solicitará al motor de procesamiento que genere vectores GPS de los datos crudos tomados.

Análisis de datos de post-proceso—Los vectores GPS procesados son analizados utilizando las herramientas de análisis proporcionadas, para determinar la calidad de los datos procesados.

Análisis de datos de pre-proceso

El procesamiento de vectores GPS depende de dos fuentes de datos: los datos crudos GPS y los datos de ocupación tomados por el receptor; y los datos específicos de una estación proporcionados por el usuario. Cuando esté utilizando el colector manual o un receptor GPS con una interfaz de usuario integrada, gran parte de la información proporcionada por el usuario puede ser ingresada en campo durante la toma de datos. En este caso, verifique los datos antes del procesamiento. Si no fue utilizado un colector manual, ésta información podrá ser ingresada manualmente. La verificación y edición de datos de estación y datos proporcionados por el usuario pueden ser realizados en más de un punto con Ashtech Solutions. Principalmente, la ventana de **propiedades de ocupación** es usada para esta tarea. La figura 18 describe la información proporcionada por el usuario que puede ser vista y editada en esta ventana.

Analice los datos antes de iniciar el procesamiento. El pre-procesamiento de datos le ayudará a través de la preparación de datos con en el procesamiento de la línea de base. Usted también podrá identificar y corregir problemas comunes.

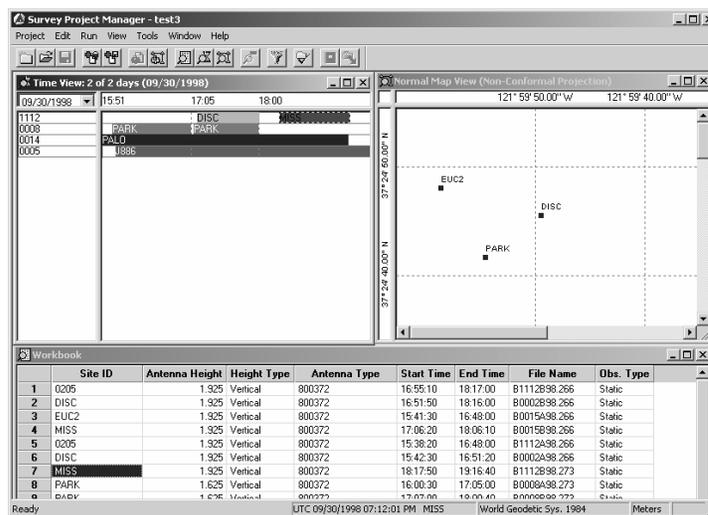
Para iniciar el análisis de datos de pre-proceso:

- 1) Si todavía no lo ha realizado, cargue todos los archivos de datos de su proyecto.

- 2) Verifique que la ventana de **Gráfico de tiempo**, en la ventana de **libro de trabajo**, esté abierta en la ficha **ocupaciones**. En la ventana de **Gráfico de tiempo**, cada banda horizontal de color se asocia a un Identificador de estación diferente. Todas las ocupaciones de un punto presentan el mismo color. Por ejemplo, cada ocupación de un punto PARQUE es mostrada en verde.

La ficha Ocupaciones lista las alturas de antena asociadas, los tiempos de inicio y término; y los nombres de archivo para cada ocupación.

Figura 18 Ventana principal administrador de proyecto



Filtrado de datos

Ocasionalmente, durante el procesamiento y el ajuste de datos es útil aislar un segmento de datos para su atención individual. Utilice la función Filtro para aislar un segmento de datos.

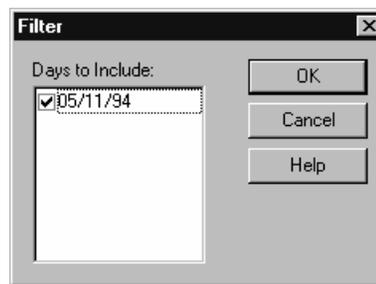
Los datos pueden ser filtrados por el día en que fueron grabados. Después de filtrar los datos, todas las acciones seguidas, incluyendo el procesamiento y ajuste, son desarrolladas únicamente sobre los datos seleccionados en la ventana de Filtro. Los datos que han sido filtrados fuera, no son visibles y ninguna acción será realizada sobre ellos. Por ejemplo, si fueron importados tres días de información cruda dentro de un proyecto y desea trabajar sólo con los datos de uno de estos días, los otros 2 días pueden ser excluidos.

Para filtrar los datos:

- 1) Seleccione Filtro desde el menú Editar
- 2) En la ventana de Filtro, Figura 19, seleccione las fechas de los datos que desee ver.

Los datos de otras fechas no seleccionados permanecerán en el proyecto, aunque no serán visibles.

Figura 19 Ventana de filtro



- 3) Haga clic en OK para cerrar la ventana de filtro y filtrar los datos de la(s) fecha(s) seleccionadas.

La ventana Gráfico de Tiempo proporciona otra manera de ver los datos selectivamente. La ventana Gráfico de Tiempo muestra un día de datos a la vez. Se puede cambiar fácilmente a un día diferente haciendo un clic en la lista desplegable del lado superior izquierdo y seleccionando una fecha diferente. La ventana Gráfico de tiempo cambia a la fecha indicada. Esto únicamente afecta los datos visibles en la ventana Gráfico de tiempo, no afectando otras vistas o acciones tales como el procesamiento o ajuste. Si registró información en terreno usando una unidad colectora o una interfaz de usuario sobre el receptor y tiene confirmados los identificadores (Id) de estación, tiempo de ocupación y alturas de antena correctamente; entonces podría no necesitar editar los datos. Sin embargo, cuando esté viendo los datos durante el análisis de pre-proceso, podría encontrar la necesidad de cambiar algunos valores.

Propiedades de ocupación

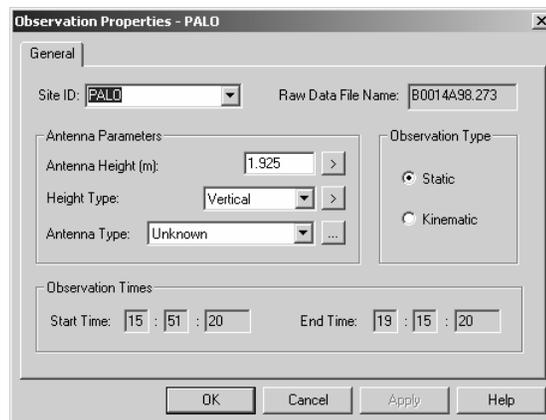
Los datos de observación proporcionados por el usuario consisten en el identificador de estación de ocupación y los parámetros de altura de antena. Si esta

información fue tomada en el campo usando un colector manual o interfaz de usuario integrada al receptor, verifique que la información sea correcta. Si esta información de estación no fue registrada correctamente en el campo, ésta necesitará ser registrada manualmente antes del procesamiento.

Ocasionalmente, las horas de inicio y término de la observación podrían necesitar ser ajustadas.

Puede ver las propiedades de cada ocupación haciendo doble-clic en la barra de tiempo de cada observación o seleccionando propiedades del menú que se despliega al presionar el botón derecho de su mouse sobre una observación en la ventana Gráfico de tiempo. En la ventana de Propiedades de ocupación, Figura 20, puede cambiar el identificador de estación y los parámetros de antena.

Figura 20 Ventana de parámetros de ocupación – ficha general



Propiedades de estación

Los datos de estación proporcionados por el usuario consisten del identificador de estación, la descripción de estación y, si están disponibles, las coordenadas de estación conocidas. Si cualquiera de las estaciones ocupadas durante la toma de datos tienen coordenadas conocidas, éstas deben ser registradas como estaciones de control, para poder iniciar el procesamiento con las coordenadas conocidas de una estación, como mínimo. Esta estación será definida como el punto inicial de procesamiento.

Ashtech Solutions puede procesar datos crudos sin una estación inicial establecida. En este caso, Ashtech Solutions seleccionará la estación a ser usada como control para el procesamiento. Las coordenadas de datos crudos de esta estación son usadas como coordenadas iniciales. En algunos casos, esto podría generar errores en los vectores procesados en la cantidad aproximada de 2-4 ppm del largo del vector. Si este nivel de error es significativo para su proyecto, una estación de control debe ser usada para procesar los datos. Si el punto no tiene coordenadas conocidas, use las coordenadas de los datos crudos.

La ventana de Propiedades de Estación tiene tres fichas, las cuales permiten ver y establecer los datos de punto. Para abrir la ventana de Propiedades de Estación, Haga doble-clic sobre la estación en el Diagrama de Estaciones

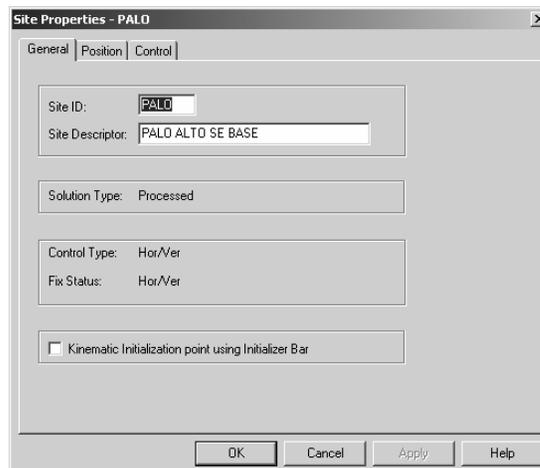
-O-

Seleccione una vista y luego seleccione Propiedades desde el menú que se despliega al presionar el botón derecho en la ficha Estaciones o el Diagrama de Estaciones.

Ficha general

La ficha general, (Figura 21), lista el nombre de la estación, el identificador de estación, tipo de solución y si la estación es una estación de control y el campo es fijo. Puede editar el identificador de estación o su descripción sobrescribiendo el texto existente.

Figura 21 Ventana de parámetros de ocupación – ficha general



Ficha posición

La ficha posición (Figura 22) lista las coordenadas de posición y los márgenes de error de posición de la estación.

Para ver las coordenadas de estación en un sistema de coordenadas diferente, haga clic en la flecha ubicada al lado derecho del campo Sistema y seleccione el sistema de coordenadas de la lista presentada.

Figura 22 Ventana de propiedades de estación – ficha posición

The screenshot shows the 'Site Properties - 0004' dialog box with the 'Position' tab selected. The 'Coordinate' section includes a 'System' dropdown menu set to 'Geographic (dms)', and input fields for Latitude (37° 22' 20.56076"N), Longitude (121° 59' 50.52531"W), Ellips Height (9.874 m), and Orthometric Height (N/A m). The 'Uncertainty' section has three input fields for 'Conf. Level' and 'Std. Err.', all set to 50.000 m. At the bottom, there are fields for 'Convergence' (N/A), 'Scale Factor' (N/A), and 'Elevation Factor' (0.9999845). Buttons for 'OK', 'Cancel', 'Apply', and 'Help' are at the bottom right.

Ficha control

La ficha control (Figura 23) es usada para establecer la estación como estación de control, mantener una estación como fija, e ingresar las coordenadas de la estación de control.

Figura 23 Ventana de propiedades de estación - ficha control

The screenshot shows the 'Site Properties - PALO' dialog box with the 'Control' tab selected. The 'Coordinate' section is identical to the previous figure. The 'Control Type' section has two checked checkboxes: 'Horizontal Control' and 'Vertical Control'. The 'Fix Status' section has two unchecked checkboxes: 'Horizontal Fixed' and 'Vertical Fixed'. The 'Uncertainty' section has three input fields for 'Conf. Level' and 'Std. Err.', all set to 0 m. Buttons for 'OK', 'Cancel', 'Apply', and 'Help' are at the bottom right.

Uso de estaciones en el procesamiento

Incluyendo:

Todas las estaciones son automáticamente incluidas al procesar los datos.

Eliminando:

Para excluir una estación del procesamiento ésta debe de ser eliminada. Seleccione la estación en la ventana de Diagrama de Estaciones y seleccione Eliminar desde el menú de clic-derecho para eliminar completamente la estación del archivo de proyecto. La eliminación de la estación sólo borra el objeto estación. Los datos crudos asociados con este punto permanecen en el proyecto, cambiando el Identificador de estación a ????. Para restablecer una estación, edite el Identificador de estación de la ocupación al Identificador previo.

Establecer una estación de control

Durante el procesamiento de los datos crudos GPS tomados simultáneamente dentro de una red, las coordenadas de una o más estaciones deben de ser un punto fijo. Normalmente, estas son las coordenadas conocidas de una de las estaciones. Estas coordenadas son llamadas coordenadas primarias y la estación, estación de control. Siempre seleccione una estación con coordenadas conocidas como su estación de control. Si no ha establecido una estación de control, Ashtech Solutions escogerá automáticamente una estación y determinará ésta como estación de control.

Las coordenadas de las estaciones de control conocidas pueden ser ingresadas para usarlas como estación primaria en el procesamiento del vector y como control fijo para el ajuste. Las estaciones de control pueden ser usadas sólo como control horizontal, control vertical o ambos. Tendrá la opción de ingresar una estación de control, pero no podrá mantener los valores de control fijos. Las ventajas de esta característica son:

Ingresar en cualquier momento todas las estaciones de control conocidas. Usted podría decidir ingresar todos los controles desde el inicio del proyecto. Podría seleccionar sólo una estación de control fija horizontal y uno vertical (puede ser el mismo punto), para el procesamiento y el ajuste mínimamente restringido (libre). Al

llegar el momento de un ajuste restringido completamente, simplemente necesitará indicar al software que mantenga fijos los otros puntos de control.

Desarrollar un Análisis de Control. Ingrese todos los controles antes de realizar el ajuste mínimamente restringido, pero mantenga fijos sólo un punto horizontal y uno vertical. La ficha Control del Libro de Trabajo mostrará luego, las comparaciones entre los valores de control conocidos y los valores ajustados de aquellas estaciones de control de las que ingresó los valores, pero no los mantendrá fijos. Una gran variación podría indicar un problema con el control.

Editando el identificador de estación

El identificador de estación es una propiedad muy importante de la estación. Cada estación debe tener un único identificador. Una estación no puede existir a menos que exista una ocupación asociada a éste. Cuando una ocupación es ingresada a un proyecto, la estación es creada con un identificador de estación específico. El identificador de estación existente puede ser editado por uno diferente. Las ocupaciones relacionadas con el identificador de estación serán automáticamente cambiadas, usando nuevo identificador. Habrá oportunidades en la que necesitará cambiar el identificador de estación, tales como, cuando desee eliminar una observación del procesamiento, renombrar el identificador de estación o modificar un identificador de estación incorrecto.

Un identificador de estación puede ser editado de múltiples formas:

Haga clic sobre la ficha Estaciones en la ventana de Libro de Trabajo y haga doble-clic (o clic-derecho) sobre el identificador de estación y modifique el nombre.

Doble-clic (o clic-derecho) sobre la barra de observación de la estación en la ventana de Gráfico de Tiempo para abrir la ventana de Parámetros de Observación y doble-clic (o clic-derecho) sobre el identificador de estación para modificar el nombre.

Doble-clic (o clic-derecho) sobre la estación dentro de la ventana de Diagrama de Estaciones para abrir la ventana de Propiedades de Estación; luego, doble-clic (o clic-derecho) sobre el Identificador de Estación y modifique el nombre.

El cambio del identificador de estación en la hoja Propiedades de Estación tendrá un efecto diferente al de cambiar la hoja de Propiedades de Ocupación.

En la hoja Propiedades de Estación, el cambio en el identificador de estación cambiará todas las observaciones que contienen este identificador por el nuevo valor. En la hoja Propiedades de Ocupación, un cambio en el identificador de estación sólo afectará aquella observación en particular.

Procesamiento de datos

El procesamiento de datos es simple. Después de seleccionar Procesar Todo o Procesar Datos No Procesados, Ashtech Solutions procesará los datos y continuará hasta finalizar, todo esto mientras se van actualizando las ventanas Diagrama de Estaciones, Gráfico de Tiempo y Libro de Trabajo con la información de datos procesada. Ashtech Solutions requiere la llave de hardware para procesar L1/L2 y/o datos GLONASS. Antes del procesamiento de datos, verifique que la llave de hardware esté conectada al puerto paralelo LPT1 de su computador.

El procesamiento incluye los siguientes pasos:

1. Antes de comenzar el procesamiento actual, Ashtech Solutions verifica que haya seleccionado la estación primaria. Si no, Ashtech Solutions mostrará un mensaje similar al de la Figura 24.

Figura 24 Ventana de mensaje de coordenada primaria



2. Si desea seleccionar su propia estación primaria, haga clic en **No** y seleccione una estación de control en la ficha **Estaciones de control**.
3. Si desea aceptar el punto especificado, haga clic en **Si** y Ashtech Solutions procesará los datos usando el punto primario especificado.

Procesar todo

Para procesar todos los datos dentro del proyecto, seleccione procesar todo desde el menú ejecutar.

De existir cualquier vector o proceso, Ashtech Solutions mostrará un mensaje indicando que éstos serán reemplazados.

Procesar datos no procesados

Para procesar sólo datos que no han sido previamente procesados o modificados, seleccione No Procesado desde el menú Ejecutar o haga clic sobre el botón Proceso Nuevo.

Análisis de datos de post-proceso

El resultado primario del procesamiento de datos crudos GPS entre 2 estaciones es un vector definiendo la relación entre ellas. Las coordenadas de las estaciones están dadas por los resultados del vector procesado. Cuando un vector es procesado, las coordenadas de un punto son siempre campos fijos. Desde el vector procesado, las coordenadas están determinadas por el vector no conocido. Antes del ajuste, las coordenadas de la estación son derivadas exclusivamente de los vectores procesados de esta estación. Para estaciones con múltiples vectores, las coordenadas mostradas son derivadas del vector con el nivel más bajo de error. El ajuste de los datos resulta en coordenadas de estación más exactas y fiables.

Ashtech Solutions presenta indicadores que ayudan a determinar la calidad de los vectores procesados y las coordenadas de los puntos calculados. La calidad de los indicadores para los vectores procesados incluye un indicador de calidad conocido como QA, un tipo de solución y los márgenes de error de los vectores. Los indicadores de calidad de las coordenadas de los puntos calculados, son los niveles de error de las posiciones del punto y el indicador del estado de posición. El vector de niveles de error, da un estimado de la calidad del vector procesado. La experiencia ayuda a determinar el nivel de márgenes de error que puede ser esperado, al variar la longitud del vector. En general, los niveles de error deben ser similares a la exactitud de las especificaciones del

receptor. Igualmente, los vectores de longitud parecida deben tener valores similares de márgenes de error. Note que la cantidad de información disponible para el procesamiento de un vector tiene un efecto sobre el margen de error del vector. De estar disponible muy poca información, los valores de márgenes de error aumentarán. Refiérase al manual de su receptor, para obtener guías acerca de la cantidad de datos que se requieren para obtener buenos resultados.

El tipo de solución, es un índice del éxito logrado al determinar las ambigüedades de enteros para cada satélite en el cálculo de un vector. Si todas las ambigüedades de enteros fueron determinadas, la solución del vector es considerada como una solución **fija** (ambigüedades fijas a enteros). Una solución Fija es la mejor solución posible. Si las ambigüedades de enteros fueron determinadas por sólo un sub-set del satélite (sobre 50 por ciento), la solución es considerada una solución **parcial**. Un vector con un tipo de solución parcial, en muchos casos continúa siendo un vector de calidad. Por ejemplo, sobre vectores más prolongados (20 Km. o más), no es en muchos casos práctico esperar obtener una solución **fija** debido al ruido incrementado en la solución, como consecuencia de la longitud del vector. Finalmente, un vector con una solución **flotante** indica que menos del 50 por ciento de las ambigüedades de enteros fueron determinadas. En la mayoría de los casos, un vector con una solución tipo Flotante será pobre en calidad. Únicamente líneas base muy prolongadas (80 Km. o más) deben tener un vector con una solución de tipo flotante. Si tiene una solución flotante sobre un vector corto, probablemente existirá un problema con los datos utilizados para calcular este vector.

El indicador de proceso QA examina la magnitud de los márgenes de error del vector para determinar la calidad del vector procesado. La magnitud de los niveles de error del vector está comparada con un valor límite. Si los niveles de error son mayores que el límite, la prueba QA falla y el vector es destacado. El valor límite ha sido seleccionado basado en la exactitud esperada para los vectores tomados y aquellos procesados en el receptor. Es importante recordar que un vector destacado indica finalmente que el vector está errado. La prueba QA está diseñada para prevenirle de

cualquier problema potencial con un vector. Incluya vectores señalados en el ajuste. Las herramientas de análisis en el ajuste proporcionan información adicional para determinar si el vector es realmente problemático. Si es así, éste puede ser eliminado.

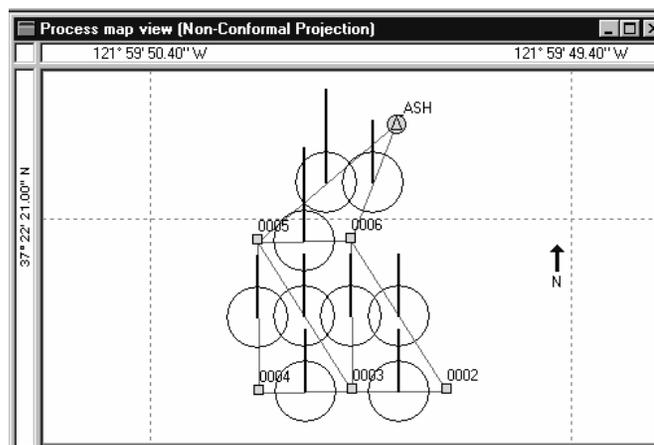
Los niveles de error de estación estiman la calidad de la posición de punto calculado. Los niveles de error, son derivados directamente de los niveles de error de un vector para un punto. Si existen múltiples vectores para una estación, la estación tomará los márgenes de error del último vector procesado. Un ajuste en los datos mejora las coordenadas de punto y reduce los márgenes de error. El indicador de estado de posición proporciona un índice de cómo las coordenadas para el punto han sido derivadas. Los parámetros de estos indicadores son crudos, procesada, ajustada. Cada uno representa un nivel diferente de fiabilidad y precisión, siendo cruda la menos fiable y exacta; y ajustada la más fiable.

Los indicadores de calidad discutidos aquí son presentados de diferentes maneras en Ashtech Solutions, dependiendo de la vista usada para el análisis. El resto de esta sección muestra como analizar estos indicadores en forma gráfica y tabular.

Revisión gráfica

Una vez que Ashtech Solutions ha procesado los datos crudos GPS, la ventana de Diagrama de estaciones cambia de normal a proceso (Figura 25).

Figura 25 Gráfico de diagrama de estaciones de proceso



Las estaciones del archivo de datos crudos han sido procesadas mostrando información visual diferente.

Control horizontal —un triángulo es ubicado sobre cada estación que tiene control horizontal

Control vertical—un círculo es ubicado sobre cada vector que tiene control vertical

Control horizontal y vertical —la estación ASH tiene un triángulo y un círculo indicando que éste presenta un control horizontal y otro vertical

Estaciones nuevas—nuevas estaciones son representadas por cuadrados azules

Regiones de error—muestra gráfica de los márgenes de error horizontales de los vectores.

Barra de error vertical —muestra gráfica de los márgenes de error de los vectores.

Vectores—una línea sólida que representa cada vector procesado. Si el vector pasa la prueba QA y tiene una solución de tipo fija, la línea es verde. Si el vector falla la prueba o tiene una solución parcial o flotante, el vector es rojo.

Si Ashtech Solutions encuentra errores durante el procesamiento, la ventana de Diagrama de estaciones mostrará estos errores.

Revisión del libro de trabajo

Para revisar los datos de la ventana de Libro de trabajo, correspondientes a la ficha:

Vectores

Haga clic sobre la ficha Vectores en la ventana de Libro de trabajo.

Los niveles de error de vector son representados en forma tabular al nivel de confianza y en las unidades establecidas en la ficha Misceláneos, de la ventana de Parámetros de proyecto. Un margen de error es representado para cada componente del vector, en adición al nivel de error del vector completo.

Una columna tabular incluye el resultado de la prueba QA para cada vector. Si una celda tabular para un vector dado se encuentra vacía, esto indicará que el cálculo del margen de error del vector está por debajo del valor límite y que el vector falló la prueba mostrando la indicación de falló.

Una columna tabular indica el tipo de solución para cada vector. Si el tipo de solución para un vector específico es Fijo, la celda tabular estará en blanco. Si el tipo de solución es parcial, la celda mostrará la palabra parcial. Finalmente, si el tipo es flotante, la celda mostrará flotante.

Estaciones

Haga clic sobre la ficha estaciones en la ventana de Libro de trabajo.

Los niveles de error de estación son presentados de forma tabular al nivel de confianza y en las medidas establecidas en la ficha misceláneos, de la ventana de Parámetros del Proyecto. Un margen de error será mostrado para cada componente de la posición.

Una columna tabular muestra el estado de la posición. Si la posición mostrada es derivada de los datos crudos tomados en la estación, la columna de estado de posición muestra la palabra cruda. Si la posición mostrada es derivada del procesamiento de los vectores para esta estación, la columna mostrará Procesada. Si la posición mostrada es derivada del ajuste de todos los vectores a esta estación, la columna muestra ajustada.

Ventana de mensajes

Si el procesamiento fue exitoso, el siguiente mensaje será mostrado:

Inicio de procesamiento.

Resumen de procesamiento:

Número de vectores procesados: 9 de 9

Anticipando que el número de vectores procesados tendrá que ser igual al número de vectores que se esperan procesar; en el ejemplo anterior, si sólo tuviera 7 de 9 vectores, usted sabrá que existe un problema.

4. COMPARACIÓN DE LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS

4.1 Levantamiento topográfico de un polígono

El levantamiento topográfico se realizar alrededor del edificio T-3 y T-5 de la Facultad de Ingeniería, USAC con el propósito de que en futuras prácticas se posean puntos de referencia.

4.1.1 Levantamiento utilizando topografía convencional

El método utilizado fue el de conservación de acimut en la modalidad de vuelta de campana.

El método de conservación de acimut, se emplea mucho en los levantamientos en los que hay que situar un gran número de detalles por observaciones lineales y angulares. Cualquier error de cierre se deduce inmediatamente de la diferencia entre las observaciones inicial y final, tomadas a lo largo de la primera alineación. Este método tiene la ventaja sobre los demás de que un simple valor angular o sea el acimut, da la dirección de la alineación a que corresponde. El acimut de salida, de la alineación inicial o el primer lado de la poligonal, pueden referirse al norte verdadero o a una dirección arbitraria cualquiera llamada también norte falso. El procedimiento del método de vuelta de campana se describe a continuación:

1. Se centra, nivela y orienta el teodolito, poniéndolo en $0^{\circ}00'00''$ hacia el norte, en la estación inicial (E0).
2. Se suelta o libera el movimiento acimutal (m. az) y se visa la estación de adelante (E1), visado el punto, se fija el m. az y se ajusta con el micrométrico del m. az, se lee la lectura tanto acimutal como vertical y se anota en la libreta de campo; se tiene el acimut de la primera línea.
3. En la misma forma se visan las radiaciones anotando los ángulos respectivos.

4. Con el movimiento general (m. g) suelto y el m. az fijo, se traslada a la estación.
5. Se centra y nivela el teodolito en la estación {E1}, dando vuelta de campana al anteojo (anteojo invertido) , se visa la estación de atrás (E0) y se afina con el micrométrico del (m. g)
6. Dar nuevamente vuelta de campana al anteojo (anteojo directo), soltar el (m. az) visando la estación siguiente (E2), fijar m. az., se toma la lectura tanto horizontal como vertical y se anota nuevamente en la libreta.
7. Se repite en cada estación siguiente, los pasos del inciso 4 al inciso 6.

4.1.2 Levantamiento utilizando Receptor GPS

El método que se utilizará para el levantamiento topográfico con GPS es el Método Estático Rápido.

RESUMEN DE OPERACIÓN DE GPS PROMARK 2

MÉTODO ESTÁTICO RÁPIDO

(El más preciso y confiable, tiempo de observación por cada punto. 5 -10 min.)

(Distancia máxima entre antenas para garantizar precisión de 5mm.- 20 km.)

1. Montar la antena base en el tripie y conectar el receptor
2. Encender el equipo
3. Seleccionar [Medir] con las flechas y presionar ENTER
4. Seleccionar [Configuración]
5. Bajar a [Grabar] y presionar ENTER
6. Seleccionar [Atributo de Punto]
7. Seleccionar [ID Sitio]
8. Introducir un identificador de 4 caracteres (por ejemplo BASE) y seleccionar [OK]
9. Bajar a [Grabar] y presionar ENTER
10. Seleccionar antena e introducir la altura

11. Presionar ESC, [Grabar datos]

12. Verificar que el tiempo de observación empiece a contar y que tenga el ID de sitio que se introdujo anteriormente

13. Para terminar la medición apagar el equipo

Hacer esto mismo en el otro GPS solo poner un identificador diferente al tratarse de otro punto.

En los sitios donde no se tiene una visual sin obstáculos hacia el cielo (por ejemplo zonas arboladas), el uso del GPS se verá limitado.

4.2 Resultados

4.2.1 Personal empleado

Brigada de topografía.

1 Topógrafo.

2 Cadeneros.

Brigada de GPS.

2 Técnicos.

En el levantamiento no se utilizó personal de apoyo (chapeadores).

4.2.2 Tiempos de trabajo de campo

Tiempos de GPS

Armado de los equipos: 0:05:00 horas

Medición del polígono: 0:48:45 horas

TOTAL 0:53:45 horas.

El tiempo de grabación para cada estación se pre-estableció en base a los manuales que sugieren configurar el receptor GPS, para que en el método estático se grabe una posición cada 10 segundos y por un tiempo de 10 minutos, es decir que se obtuvieron 60 posiciones por estación, el tiempo de medición del polígono también incluye el colocar la estaca con su marca (clavo).

Tiempos de Topografía Teodolito WT1

El tiempo total que ocupó la brigada de topografía fue 1 hora 25 minutos. El tiempo aprovechado o tiempo real fue de 1 hora con 05 minutos, dando como promedio por estación 17.5 minutos, este tiempo incluye el colocar la estaca con su marca (clavo), el centrar y nivelar el teodolito, el tiempo de traslación de los cadeneros a las dos estaciones y las lecturas respectivas.

4.2.3 Precisiones

Con base a la información de las especificaciones técnicas del equipo, al manejo de los resultados y tomando como referencia las distancias, ángulos y datos obtenidos con el levantamiento GPS y el Teodolito (ver apéndice 1-8), las precisiones alcanzadas fueron:

4.2.3.1 En relación a las distancias

El perímetro del levantamiento topográfico convencional o sumatoria de distancias (ver apéndice 6) dio como resultado **539.70 metros** y en relación a la sumatoria de las diferencias absolutas entre las distancias GPS contra las topográficas (ver apéndice 7) 0.09 que es de **metros**, la precisión lograda fue de:

$$1.96 \text{ mts.} / 541.66 \text{ mts.} = \mathbf{0.0036}$$

En conclusión nos dice que por cada 100 metros de recorrido se tuvo un error de: **36.00 centímetros.**

4.2.3.2 En relación a los acimut

Tomando como referencias las diferencias entre GPS y topografía y el promedio de éstas diferencias (ver apéndice 8) da como resultado **0° 01 ' 18 "**.

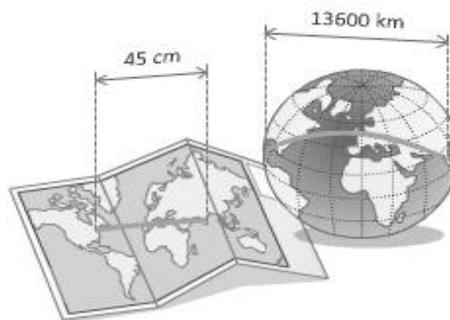
4.2.3.3 Escala

La relación existente entre las distancias medidas en un plano o mapa y las correspondientes en la realidad se denomina escala. Por tanto, la escala es una proporción entre dos magnitudes lineales, independientemente del sistema de unidades de longitud que se utilice.

En general, los mapas, cualesquiera que sean sus características, están dibujados a una escala determinada que permite efectuar medidas y conocer la distancia exacta entre los diferentes puntos del terreno.

La escala puede expresarse de tres formas distintas: numérica, gráfica y textual o literal. Cualquiera de estas formas (o su combinación) es suficiente para conocer inequívocamente la relación entre las dimensiones reales y las medidas en el plano o mapa.

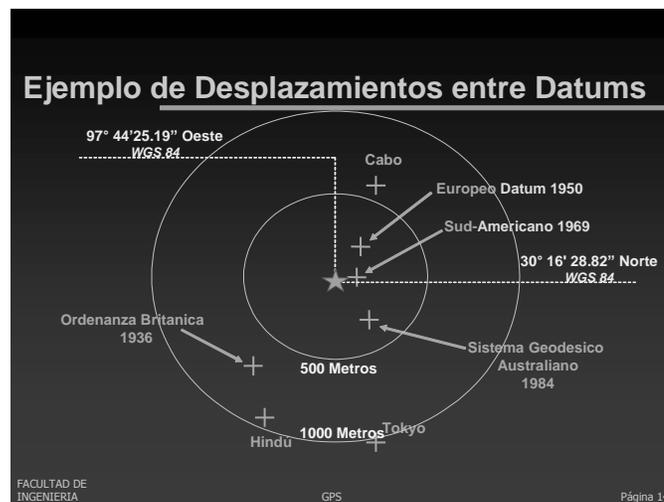
Figura 26 Escala



4.2.3.4 Proyección

El Sistema de Referencia Geodésico que utiliza el Sistema GPS es el WGS-84, como se puede observar en la Figura 27, donde se hace una comparación entre los distintos datums existentes y su precisión, se puede observar la variación al seleccionar determinado Datum. La proyección que se utilizó es la Proyección Transversal de Mecator y Coordenadas UTM, ya que el país utiliza esta proyección y coordenadas en su cartografía, así como también el sistema de Referencia GTM.

Figura 27 Desplazamiento entre Datums



La zona 16 UTM fue en la que se trabajó así como el modelo de elipsoide que se utilizó es el **WGS84**, para la conversión de estas coordenadas se utilizó el programa **CONVERSION DE COORDENADAS** (donde solicita que se introduzca los datos de longitud, latitud, huso) (ver bibliografía).

Para el factor de escala lo interpolaremos de la gráfica (ver apéndice 13).
Distancia a Meridiano Central = $500,000 - 236,000 = 264,000$ mts.

100	0.99972
200	1.00010
264	x

$$(100-264)/(0.99972-X) = (100-200)/(0.99972-1.0001)$$

Factor de Escala = Ko = 1.0034

Al convertir latitud y longitud a coordenadas métricas, la proyección UTM obliga (por estándar) a aplicar un “factor de escala” de 1.0034 para distribuir mejor, dentro del área cartografiada, las distorsiones de tamaño de los elementos representados

El factor de escala en cualquier punto y en cualquier dirección es función del ángulo de longitud. El factor de corrección de escala que corresponde a nuestra zona es de 1.0034 para coordenadas UTM, según tablas de anexos.

Ejemplo

Distancia de 1-2 = 145.15 mts. Aplicando el factor de escala entonces obtendríamos

Distancia por corrección de escala (f=1.0034) = 145.15 *1.0034 = 145.64 mts. (ver apéndice 7).

4.2.4 Tiempo de trabajo en gabinete

Para GPS:

A. Trasladar información de los receptores GPS a la computadora.	0:12:00 horas
B. Procesar el levantamiento	0:25:00 horas
C. Dibujar	0:10:00 horas
D. Plotear	0:05:00 horas
Total:	0:52:00 horas

Para Topografía:

A. Cálculos necesarios para manejar la información de la libreta de campo	0:25:00 horas
B. Ingreso de datos y cálculos	0:15:25 horas
C. Dibujo a mano	0:30:00 horas
Total:	1:10:25 horas

4.2.5 Resumen de resultados

Tabla V Resumen de resultados

	Tecnología GPS	Topografía
Tiempo de campo	0:53:45 horas	1:25:00 horas
Tiempo de gabinete	0:52:00 horas	1:10:25 horas
Error unitario	2.52E-06	1.25E-04
Error cierre en dist.	1.36E-03mts.	0.068 mts.
Área	18193.99 mts ² .	18120.188 mts ² .
Perímetro	541.66 mts.	539.70 mts.

4.2.6 Análisis de resultados

4.2.6.1 Personal

Se utilizaron 2 personas para el levantamiento GPS y 1 topógrafo con 2 cadeneros para el levantamiento con teodolito, en este caso no se utilizó personal de apoyo, es decir chapeadores, que en una brigada de topografía serían alrededor de 2 ó 3 personas dependiendo del tipo y circunstancias del terreno, mientras que en la brigada GPS se puede prescindir de este personal o dependiendo de la geografía del terreno se podría sólo utilizar 1.

4.2.6.2 Tiempos

CAMPO

Posee una desventaja de 31 minutos con 15 segundos el levantamiento realizado con teodolito esto en su mayoría se debe a que como se realizo alrededor del edificio T-3 de la Facultad de Ingeniería nos encontramos con tráfico peatonal como vehicular y de

igual manera encontraríamos estos inconvenientes en el campo por la limpieza que hay que realizar y por que debemos de poseer una visual entre estaciones.

GABINETE

El equipo GPS posee una ventaja de 18 minutos y 25 segundos debido al programa de procesamiento Ashtech Solutions procesa todos los resultados sin que intervengamos directamente en estos cálculos y debido a que el mercado cada día se encuentran computadores más avanzados, y de está manera recortando el tiempo de procesamiento de estos datos, mientras que en la topografía convencional existen programas que nos ayudan a realizar estos cálculos pero hay pasos que no se pueden obviar.

4.2.6.3 Error en distancia y perímetro

En el levantamiento con GPS se obtuvo un error de cierre de 1.36E-03 metros mientras que con la topografía convencional de 0.068 metros, esto se debe a la precisión que puede lograr el levantamiento utilizando equipo GPS así como el método Estático Rápido que fue el que se utilizo para desarrollar este levantamiento siendo este de los más precisos de los métodos que se pueden utilizar con este equipo, y con relación al perímetro se obtuvo una diferencia 1.96 Mts. que corresponde a 0.361% de diferencia entre los dos levantamientos.

4.2.6.4 Diferencia angulares

Como referencia para el levantamiento topográfico convencional se utilizo el edificio T-1, mientras tanto con el levantamiento GPS por defecto utiliza el Norte Verdadero, esto dio como resultado una media de diferencia de **3°20'36"** entre el norte verdadero y el punto de referencia utilizado para el levantamiento topográfico con teodolito.

Los valores calculados y medidos, de la variación angular y ángulos internos con los levantamientos GPS y con teodolito se anotan pero no se discuten, y se dejan estos valores para el análisis del lector.

De igual forma se estableció una variación angular relativa de **0°01'18"** y una variación angular absoluta de **0°09'36"**, la primera nos da la variación angular que existe entre los puntos del polígono este dato debe tender a cero, y la segunda nos da el rango total de variación angular del polígono.

Así también se calculó las diferencias de los ángulos internos entre los puntos de los polígonos, dándonos un promedio de diferencia relativa a **0°00'00"** con lo cual se cumple con lo establecido de que este valor debe tender a cero, y un promedio de diferencia absoluta de **0°32'24.5"** que nos establece el rango de variación total de los ángulos internos entre los puntos de los polígonos.

4.2.6.5 Áreas

Con el levantamiento con GPS se obtuvo un área de 18193.99 mts². y con el levantamiento con el teodolito se obtuvo un área de 18120.188 mts²., dando una diferencia de 73.80 mts²., dando una diferencia de 0.405%.

CONCLUSIONES

1. El levantamiento Topográfico con GPS facilita considerablemente el trabajo en campo, debido a que el equipo que se utiliza no es difícil de transportar, éste no requiere de demasiado personal para la toma de datos. El trabajo de gabinete se reduce considerablemente por la utilización de computadores facilitando el procesamiento de datos.
2. Los sistemas GPS tienen la ventaja sobre cualquier otro equipo topográfico, ya que no requiere tener visuales entre los puntos a medir.
3. En la tecnología GPS se mantiene la precisión en cualquier tipo de terreno, mientras que en la topografía convencional dependiendo de la geografía del terreno el margen de error se incrementa. Para levantamientos topográficos con GPS en condiciones donde se puede tener el inconveniente de no contar con la señal adecuada, deben hacerse consideraciones especiales en el trabajo de campo basados en una visita previa al lugar y con ello realizar una buena planificación.
4. La limitante de la tecnología GPS es la misma que le da su precisión como son la visibilidad de los satélites, ya que la medición solo se puede realizar en lugares donde se pueda por lo menos tener la señal de 4 satélites sin interrupción.
5. Los levantamientos topográficos realizados con GPS se ven menos afectados por las variaciones climatológicas que otros tipos de levantamientos, el sistema se fundamenta en la programación de ondas electromagnéticas, por lo que el trabajo puede efectuarse en condiciones de lluvia, nevada o neblina.

RECOMENDACIONES

1. A la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, se sugiere, que implemente en sus cursos el aprendizaje del Sistema de Posicionamiento Global, para formar profesionales que estén a la vanguardia de la tecnología.
2. A las Empresas que distribuyen los equipos GPS, se sugiere que impartan cursos teóricos y prácticos, relacionados con el tema, a topógrafos, estudiantes y profesionales, con el objeto de difundir el conocimiento sobre GPS, y promover la comercialización de sus productos como consecuencia de lo anterior.
3. Obtener bibliografía referente al tema, para contar con un mayor soporte en este campo, que sirva como consulta y para futuras investigaciones.
4. Es de vital importancia que en Guatemala se introduzcan técnicas avanzadas de topografía, ya que esto contribuirá con el desarrollo del país, teniendo en cuenta que estos equipos cumplen con los requerimientos necesarios para su potencialización, debido a su eficiencia en términos de costos-resultados-tiempo.
5. A la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, se le recomienda que adquiera equipo GPS más moderno, debido a que el posee puede servir para el aprendizaje, pero lamentablemente éste tipo de tecnología avanza demasiado y el estudiantado en la mayoría de casos no tiene el conocimiento para comprender su funcionamiento y uso en el campo de la Ingeniería Civil.

BIBLIOGRAFÍA

1. McCormac, Jack. **Topografía**. México Limusa Wiley 2004, Primera Edición. Páginas 400.
2. F.J., Polidura Fernández. **Topografía, Geodesia y Cartografía Aplicadas a la Ingeniería**, Ediciones Mundi-Prensa 2000. Páginas 476.
3. Serafín López, Cuervo. **Topografía**. Segunda Edición, Ediciones Mundi-Prensa 1996. Páginas 465.
4. Calvillo Ramírez, Cesar Augusto. Estudio de las especificaciones usadas en Guatemala para la topografía y la geodesia. Trabajo de graduación Ingeniera Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Páginas 137
5. Mansilla, Edgar, Topografía: principios básicos y planimetría. Trabajo de graduación Ingeniera Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala julio 1984.pp. Pág. 186-224
6. Gracioso Sierra, Renzo Ricardo, Estación Total y GPS, nociones básicas y su aplicación en la topografía tradicional. Trabajo de graduación Ingeniera Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Páginas 77.
7. Reyes Arreaga, Sergio Ivan, Guía Teórica Práctica del curso de Topografía 3. Trabajo de graduación Ingeniera Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Páginas 217.

8. Ing. Jorge Enrique Mansilla González. Levantamientos Topográficos con propósitos Catastrales sobre la Proyección GTM

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

Proyecto Mercator (consulta 06/09/2008)

<http://www.mercator.org/> (consulta 06/09/2008)

<http://www.utexas.edu/depts/grg/gcraft/notes/gps/gps.html> (consulta 06/09/2008)

<http://www.agriculturadeprecision.org/sistpos/SistemasPosicionamiento.htm> - 42k
(consulta 21/09/2008)

<http://www.geocities.com/canal37net/Html/gps.html> (consulta 21/09/2008)

<http://www.HISTORIA\gps.htm> (consulta 21/09/2008)

<http://www.isa.cie.uva.es/gps/GPSdgps.html> (consulta 21/09/2008)

<http://www.sportquest.com/revista/efd9/gps.htm> (consulta 22/09/2008)

<http://personal.redestb.es/jatienza/gps/index.htm> (consulta 22/09/2008)

http://www.ctv.es/USERS/cprtopa/c_gps.htm (consulta 25/09/2008)

<http://www.relojeria.org/relojes-gps-sistema-global-posicionamiento.html>
(consulta 25/09/2008)

<http://www.ashtech.com> (consulta 10/12/2008)

<http://www.magellangps.com> (consulta 10/12/2008)

<http://lareg.ensg.ign.fr/ige> (consulta 15/12/2008)

<http://www.glonass.org> (consulta 15/12/2008)

http://cddis.gsfc.nasa.gov/920_1/SGAPO.html (sistema VLBI) (consulta 21/12/2008)

<http://personales.mundivia.es/edomenecht/docs/gpsweb/introgps/introgps.htm>
(consulta 21/12/2008)

<http://satnav.atc.ll.mit.edu/papers/LLjournal/Misra.html> (consulta 06/01/2009)

<http://www.galileo-pgm.org/> (consulta 04/04/2009)

Convertidor de Coordenadas

<http://www.sinfgeo.com/tools/utm2lat.htm> (consulta 04/04/2009)

APÉNDICE 1

Network Relative Accuracy

TESIS

Desired Horizontal Accuracy: 0.020m + 1ppm **Date:** 03/07/09
Desired Vertical Accuracy: 0.050m + 2ppm **Project file:** TESIS.spr
Confidence Level: 95% Err.
Linear Units of Measure: Meters

<u>Site Pair</u>		<u>Relative Error</u>	<u>Allow. Error</u>	<u>Horizontal Relative Acc</u>	<u>Vertical Relative Acc</u>	<u>Distance</u>	<u>Site Pair QA</u>
0002	Lat	0.000	0.020	1:0	1:0	147.172	1
0001	Lng	0.000	0.020				
	Elv	0.000	0.020				
0002	Lat	0.000	0.020	1:0	1:0	122.457	2
0003	Lng	0.000	0.020				
	Elv	0.000	0.020				
0004	Lat	0.000	0.020	1:0	1:0	143.487	3
0003	Lng	0.000	0.020				
	Elv	0.000	0.020				
0004	Lat	0.000	0.020	1:0	1:0	127.688	4
001	Lng	0.000	0.020				
	Elv	0.000	0.020				

Adjustment Summary

TESIS

Project file: TESIS.spr **Date:** 03/07/09

Adjustment Type: Fully Constrained
Variance of Unit Weight: 15.9
Adjustment scale factor: 1.00
Vectors Failing Tau Test: 0
Site Pairs Failing Relative Accuracy QA Test: 0
Vector Total: 4
Site Total: 4
Horizontally Constrained Sites: 4
Vertically Constrained Sites: 4
Horizontal Coordinate System: World Geodetic Sys. 1984
Height System: Ellips. Ht.
Desired Horizontal Accuracy: 0.020m + 1ppm
Desired Vertical Accuracy: 0.020m + 2ppm
Confidence Level: 95% Err.

APÉNDICE 2

Adjusted Vectors TESIS

Vector Stage: Adjusted **Date:** 03/07/09
Horizontal Coordinate System: World Geodetic Sys. 1984 **Project file:** TESIS.spr
Height System: Ellips. Ht.
Linear Units of Measure: Meters

	<u>Vector Identifier</u>		<u>Vector Length</u>	<u>Vector Components</u>	<u>Resid.</u>	<u>Tau Test</u>
1	0002-0001	2/27 20:59	147.172	X Y Z	-145.177 9.081 22.378	-1.702 5.182 0.535
2	0002-0003	2/27 21:17	122.457	X Y Z	-19.857 -26.346 -117.930	0.947 1.943 1.797
3	0004-0003	2/27 21:32	143.487	X Y Z	142.325 -4.908 -17.554	1.820 3.178 -1.527
4	0004-0001	2/27 21:49	127.688	X Y Z	16.761 30.458 122.864	1.515 2.182 -1.294

Processed Vectors TESIS

Vector Stage: Processed
Date: 03/07/09
Horizontal Coordinate System: World Geodetic Sys. 1984
Project file: TESIS.spr
Height System: Ellips. Ht.
Desired Horizontal Accuracy: 0.050m + 1ppm
Desired Vertical Accuracy: 0.050m + 2ppm
Confidence Level: 95% Err.
Linear Units of Measure: Meters

	<u>Vector Identifier</u>		<u>Vector Length</u>	<u>95% Error</u>	<u>Vector Components</u>	<u>95% Error</u>	<u>SVs</u>	<u>PDOP</u>
1	0002-0001	2/27 20:59	145.180	0.664	X Y Z	-143.475 3.899 21.842	0.375 0.381 0.395	7 2.5
2	0002-0003	2/27 21:17	124.770	0.528	X Y Z	-20.804 -28.289 -119.726	0.279 0.308 0.327	5 6.0
3	0004-0003	2/27 21:32	141.647	0.558	X Y Z	140.505 -16.027 -8.086	0.325 0.341 0.299	7 2.5
4	0004-0001	2/27 21:49	128.247	0.638	X Y Z	15.246 28.276 124.158	0.363 0.369 0.373	6 3.8

APÉNDICE 3

Site Positions

TESIS

Horizontal Coordinate System:	World Geodetic Sys. 1984	Date:	03/07/09
Height System:	Ellips. Ht.	Project file:	TESIS.spr
Desired Horizontal Accuracy:	0.050m + 1ppm		
Desired Vertical Accuracy:	0.050m + 2ppm		
Confidence Level:	95% Err.		
Linear Units of Measure:	Meters		

Site ID	Site Descriptor	Position	95% Error	Fix Status	Position Status
1 0002	PUNTOCASTA	Lat. 14° 35' 16.51278" N	0.000	Fixed	Adjusted
		Lon. 90° 33' 09.17056" W	0.000	Fixed	
		Elv. 1518.135	0.000	Fixed	
2 0003	PARQUEOMCA	Lat. 14° 35' 12.61112" N	0.000	Fixed	Adjusted
		Lon. 90° 33' 09.78190" W	0.000	Fixed	
		Elv. 1515.171	0.000	Fixed	
3 0004	PUNTOCONST	Lat. 14° 35' 13.14962" N	0.000	Fixed	Adjusted
		Lon. 90° 33' 14.49657" W	0.000	Fixed	
		Elv. 1508.875	0.000	Fixed	
4 0001	ENTRADAPARQUEO	Lat. 14° 35' 17.23804" N	0.000	Fixed	Adjusted
		Lon. 90° 33' 13.99149" W	0.000	Fixed	
		Elv. 1508.771	0.000	Fixed	

Control Site Positions

TESIS

Horizontal Coordinate System:	World Geodetic Sys. 1984	Date:	03/07/09
Height System:	Ellips. Ht.	Project file:	TESIS.spr
Desired Horizontal Accuracy:	0.050m + 1ppm		
Desired Vertical Accuracy:	0.050m + 2ppm		
Confidence Level:	95% Err.		
Linear Units of Measure:	Meters		

Site ID	Control Site Descriptor	Position	95% Error	Control Type	Fix Status
1 0002	PUNTOCASTA	Lat. 14° 35' 16.51278" N	0.000	Hor/Ver	Fixed
		Lon. 90° 33' 09.17056" W	0.000		Fixed
		Elv. 1518.135	0.000		Fixed
2 0003	PARQUEOMCA	Lat. 14° 35' 12.61112" N	0.000	Hor/Ver	Fixed
		Lon. 90° 33' 09.78190" W	0.000		Fixed
		Elv. 1515.171	0.000		Fixed
3 0004	PUNTOCONST	Lat. 14° 35' 13.14962" N	0.000	Hor/Ver	Fixed
		Lon. 90° 33' 14.49657" W	0.000		Fixed
		Elv. 1508.875	0.000		Fixed
4 0001	ENTRADAPARQUEO	Lat. 14° 35' 17.23804" N	0.000	Hor/Ver	Fixed
		Lon. 90° 33' 13.99149" W	0.000		Fixed
		Elv. 1508.771	0.000		Fixed

APÉNDICE 5

7	BR002B09.058	27/02/2009	27/02/2009	10.0	62	24649
L1 GPS						
09:17:00 p.m.						
8	BR002C09.058	27/02/2009	27/02/2009	10.0	67	25054
L1 GPS						
09:32:50 p.m.						

Project Summary TESIS

Project file: TESIS.spr

Date: 03/07/09

Client Name:

Project Name: TESIS

Project Comments:

GUÍA PRÁCTICA PARA EL USO DE
RECEPTORES GPS DE
MONOFRECUENCIA L1

Desired Horizontal Accuracy: 0.020m + 1ppm
Desired Vertical Accuracy: 0.020m + 2ppm
Confidence Level: 95% Err.

Horizontal Coordinate System: World Geodetic Sys. 1984
Height System: Ellips. Ht.
Linear Units: Meters

Number of Sites: 4
Number of Vectors: 4

Survey Company Name:

MEDICIÓN DE POLIGONO GPS TOPOGRAFICO

		COORDENADAS UTM						COORDENADAS GEOGRÁFICAS		COORDENADAS PARCIALES		CORREGIDAS		COORDENADAS TOTALES		DOBLE AREAS			
EST.	PO.	EST	NORD	LATITUD	LONGITUD	DISTANCIA(MTS)	AZIMUT	Y	X	Yc	Xc	Y	X	DDE	DDM	P1	P2		
1.00	2.00	236457.54	1614188.80	14° 35' 17.23" N	90° 33' 13.99" W	145.15	81°54'07"	20.280	140.770	20.28	140.77	20.28	140.77	20.29	140.77	2854.84	2856.23		
2.00	3.00	236312.95	1614168.05	14° 35' 16.512" N	90° 33' 9.17" W	124.77	171°56'27"	-124.580	17.104	-124.58	17.10	-104.30	157.87	-84.02	298.64	-37205.15	-1437.08		
3.00	4.00	236329.96	1614062.93	14° 35' 12.611" N	90° 33' 9.78" W	141.65	261°08'17"	-22.000	-142.813	-22.00	-142.81	-126.30	15.06	-230.60	172.94	-3804.58	32932.78		
4.00	1.00	236471.31	1614047.89	14° 35' 13.14" N	90° 33' 14.49" W	128.25	353°23'30"	126.310	-15.060	126.31	-15.06	0.01	0.00	-126.29	15.06	1902.46	1901.93		
		DH				539.812		0.0010	0.00092	0.00	0.00			-36252.427	36253.854				

(Referencia Programa Conversor de Coordenadas para conversión de Coordenadas Geográficas a UTM)

ÁREA = 18126.927 MT².

ERROR UNITARIO = 2.52 E-6

ERROR DE CIERRE = E = 1.36E-3

Factor de Escala = 1.0034

ÁREA CORREGIDA (Factor de escala) = 18193.99 MT²

DISTANCIA TOTAL = 541.66 mts.

DISTANCIA CORREGIDA POR FACTOR DE ESCALA		
EST.	PO.	DH (MTS.)
1	2	145.64
2	3	125.19
3	4	142.13
4	1	128.69

APÉNDICE 7

**MEDICIÓN DE POLIGONO
DIFERENCIAS ANGULARES**

EST.	Po.	ANG. GPS			ANG. TEODOLITO			DIFERENCIA GPS - TEODOLITO			DIFERENCIA - PROMEDIO		
		<i>G</i>	<i>M</i>	<i>S</i>	<i>G</i>	<i>M</i>	<i>S</i>	<i>G</i>	<i>M</i>	<i>S</i>	<i>G</i>	<i>M</i>	<i>S</i>
1	2	81	54	7	84	56	15	-3	-2	-8	0	18	28
2	3	171	56	27	174	33	15	-3	23	12	0	3	-24
3	4	261	8	17	264	49	54	-3	-41	-37	0	-21	-1
4	1	353	23	30	356	38	58	-3	-15	-28	0	5	8
											0.00	5.00	11.00
											0	9	36
											0	1	18

SUMATORIA	13.3736		
=			
PROMEDIO	G	M	S
3.3434	3	20	36

EST.	Po.	Ángulo Interno (GPS)	Ángulo Interno (TEODOLITO)	DIFERENCIA
1	2	91°29'23"	91°42'43"	-0°13'20"
2	3	89°57'40"	90°23'00"	-0°25'20"
3	4	90°48'10"	89°43'21"	1°04'49"
4	1	87°44'47"	88°10'56"	-0°26'09"
PROMEDIO DE DIFERENCIAS RELATIVAS				0°00'00"
PROMEDIO DE DIFERENCIAS ABSOLUTAS				0°32'24.5"

APÉNDICE 8

APÉNDICE 9

GPS / GLONASS MISSION PLANNING

S A T E L L I T E V I S I B I L I T Y

Site name: USAC
 Almanac file name: alm98.257
 Site description: TOPOGRAFIA GPS
 Available GPS satellites (PRN numbers):
 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 13 14 15 16 17 18 19 21 22 23 24 25 26 27 29 30 31
 Latitude : 14° 35' 17.23" N
 Longitude : 90° 33' 13.99" W
 Altitude : 1510.00
 Elevation cut-off angle: 15
 Mode: 3D
 Date: 2/27/2009
 Local Time - GMT: 0.00 h
 Local Time Interval: 0:00 - 24:00

System	GPS	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	29	30
Time	EL:AZ	EL:AZ	EL:AZ	EL:AZ	EL:AZ	EL:AZ	EL:AZ	EL:AZ	EL:AZ	EL:AZ	EL:AZ	EL:AZ	EL:AZ	EL:AZ	EL:AZ
00:00	---	---	59:207	---	20:234	---	57: 4	---	---	---	---	---	---	32:309	---
00:15	---	---	52:200	---	24:239	---	63: 13	---	---	---	---	---	---	33:317	---
00:30	---	---	45:195	---	28:245	---	69: 25	---	---	---	---	---	---	34:325	19:191
00:45	---	---	39:191	---	32:252	---	74: 44	---	---	---	---	---	---	35:332	24:189
01:00	---	---	32:187	---	35:259	---	76: 75	---	---	---	---	---	---	36:340	31:188
01:15	---	---	26:184	---	38:266	---	75:108	---	---	---	---	---	---	38:348	37:186
01:30	---	---	20:180	---	40:276	---	69:129	---	---	---	---	---	---	39:355	44:185
01:45	---	---	---	---	41:286	---	63:142	---	---	---	---	---	---	41: 3	51:184
02:00	---	---	---	---	42:295	---	56:149	---	---	---	---	---	---	43: 12	59:183
02:15	---	---	---	---	43:304	---	48:154	---	---	---	---	---	---	44: 20	67:182
02:30	---	---	---	---	43:314	---	41:157	---	---	---	---	---	---	46: 30	75:179
02:45	---	---	---	---	35:340	---	34:158	---	---	---	---	---	---	48: 40	83:172
03:00	---	---	---	---	40:345	---	42:332	---	---	---	---	---	---	49: 50	88: 73
03:15	---	---	---	---	45:351	---	42:340	---	---	---	---	---	---	50: 61	81: 22
03:30	---	---	---	---	50:357	---	41:349	---	---	---	---	---	---	50: 73	73: 17
03:45	---	---	---	---	56: 5	---	41:357	---	---	---	---	---	---	49: 84	65: 17
04:00	---	---	---	---	61: 13	---	41: 6	---	---	---	---	---	---	47: 95	58: 18
04:15	---	---	---	---	67: 26	---	41: 14	---	---	---	---	---	---	44:105	51: 19
04:30	---	---	---	---	71: 43	---	40: 23	---	---	---	---	---	---	40:114	44: 21
04:45	---	---	---	---	74: 68	---	40: 31	---	---	---	---	---	---	36:121	38: 24
05:00	---	---	---	---	73: 97	---	40: 40	---	---	---	---	---	---	31:128	32: 27
05:15	---	---	---	---	69:119	---	40: 49	---	---	---	---	---	---	26:133	27: 30
05:30	---	---	---	---	64:133	---	39: 58	---	---	---	---	---	---	---	---
05:45	---	---	---	---	57:142	---	38: 67	---	---	---	---	---	---	---	---
06:00	---	---	---	---	51:148	---	37: 76	---	---	---	---	---	---	---	---
06:15	---	---	---	---	44:152	---	36: 84	---	---	---	---	---	---	---	---
06:30	---	---	---	---	37:155	---	33: 92	---	---	---	---	---	---	---	---
06:45	---	---	---	---	30:156	---	31:100	---	---	---	---	---	---	---	---
07:00	---	---	---	---	24:157	---	27:107	---	---	---	---	---	---	---	---
07:15	---	---	---	---	24:114	---	24:114	---	---	---	---	---	---	---	---
07:30	---	---	---	---	20:120	---	20:120	---	---	---	---	---	---	---	---

APÉNDICE 10

GPS / GLONASS MISSION PLANNING

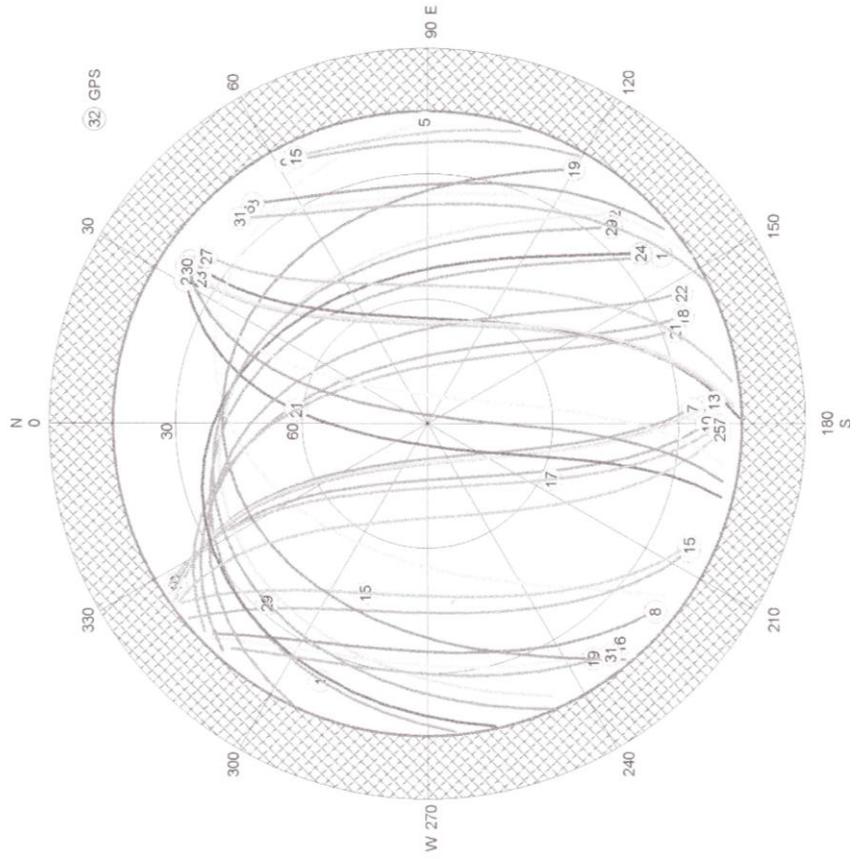
SATELLITE VISIBILITY

Site name: USAC
 Site description: TOPOGRAFIA GPS
 Site name: USAC
 Almanac file name: alm98.257
 Available GPS satellites (PRN numbers):
 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 13 14 15 16 17 18 19 21 22 23 24 25 26 27 29 30 31
 Elevation cut-off angle: 15
 Mode: 3D
 Date: 2/27/2009
 Latitude : 14° 35' 17.23" N
 Longitude: 90° 33' 13.99" W
 Altitude : 1510.00
 Local Time - GMT: 0.00 h
 Local Time Interval: 0:00 - 24:00

System	GPS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	13	14	15
SV	EL:AZ	EL:AZ	EL:AZ	EL:AZ	EL:AZ	EL:AZ	EL:AZ	EL:AZ	EL:AZ	EL:AZ	EL:AZ	EL:AZ	EL:AZ	EL:AZ
00:00	23:291	---	---	---	---	---	---	---	---	---	17:327	---	---	46:293
00:15	24:298	---	---	---	---	---	---	---	---	---	23:329	---	---	48:282
00:30	26:305	---	---	---	---	---	---	---	---	---	29:331	---	---	49:271
00:45	27:312	---	---	---	---	---	---	---	---	---	35:332	---	---	48:259
01:00	29:319	---	---	---	---	---	---	---	---	---	41:332	---	---	45:248
01:15	31:326	---	---	---	---	---	---	---	---	---	48:331	---	---	42:239
01:30	33:333	---	---	---	---	---	---	---	---	---	55:329	---	---	38:231
01:45	35:340	---	---	---	---	---	---	---	---	---	62:325	---	---	34:223
02:00	37:347	---	---	---	---	---	---	---	---	---	68:316	---	---	29:217
02:15	40:355	---	---	---	---	---	---	---	---	---	74:298	---	---	25:211
02:30	43: 2	---	---	---	---	---	---	---	---	---	76:268	---	---	21:205
02:45	45: 10	---	---	---	19:216	---	---	---	---	---	74:237	---	---	---
03:00	48: 19	---	---	---	25:219	---	---	---	---	---	69:217	---	---	---
03:15	51: 29	---	---	16:179	31:223	---	---	---	---	---	63:206	---	---	---
03:30	54: 40	---	---	20:175	37:228	---	---	---	---	---	56:199	---	---	---
03:45	56: 52	---	---	25:170	42:234	---	---	---	---	---	49:194	---	---	---
04:00	57: 66	---	---	30:166	47:242	---	---	---	---	---	42:190	16:325	---	---
04:15	57: 79	---	---	36:161	51:252	---	---	---	---	---	35:187	21:328	---	---
04:30	55: 93	---	---	42:156	54:264	---	---	---	---	---	29:183	26:330	---	---
04:45	52:105	---	---	47:150	56:277	---	---	---	---	---	23:180	32:332	---	---
05:00	49:116	---	---	53:142	57:290	---	---	---	---	---	---	39:334	---	---
05:15	44:124	---	---	58:132	56:304	---	---	---	---	---	---	45:334	---	---
05:30	39:131	---	---	62:118	55:317	---	---	---	---	---	---	52:334	---	---
05:45	33:137	---	---	65:102	53:328	---	---	---	---	---	---	59:333	---	---
06:00	27:141	---	---	64: 83	50:338	---	---	---	---	---	---	66:328	---	---
06:15	21:144	---	---	62: 67	47:348	---	---	---	---	---	---	73:319	---	---
06:30	---	---	---	32:288	58: 55	---	---	---	---	---	---	79:296	---	---
06:45	---	---	---	33:296	52: 46	---	---	---	---	---	---	80:252	---	17:107
07:00	---	---	---	34:303	46: 41	---	---	---	---	---	---	76:217	---	18:100
07:15	---	---	---	35:311	40: 37	---	---	---	---	---	---	69:202	---	20: 93
07:30	---	---	---	36:319	34: 35	17:177	34: 26	---	---	---	---	62:195	---	21: 86

APÉNDICE 11

Site name:
 USAC
 Site description:
 TOPOGRAFIA GPS
 Almanac file name: aim98.257
 Available GPS satellites (PRN numbers):
 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 13 14 15 16 17 18 19 21 22 23 24 25 26 27 29 30 31
 Elevation cut-off angle: 15
 Mode: 3D
 Date: 2/27/2009
 Local Time - GMT: 0.00 h
 Local Time Interval: 0.00 - 24.00



APÉNDICE 12

FIELD OBSERVATION LOG

PROJECT NAME:	SITE ID: _____		
PROJECT LOCATION:	SITE NAME: _____		
CLIENT NAME:	SITE TYPE: HORZ. CNTRL / VERT. CNTRL / NEW / REOCCUPATION		
DATE:	RECEIVER ID: _____		RECEIVER SESSION #: _____
OBSERVER'S NAME:	HANDHELD USED: YES / NO HANDHELD ID: _____		
ANT. HEIGHT PARAMETERS Phase Offset Included? Y / N			
ANTENNA SLANT		ANT. RADIUS	VERT. OFFSET
START	END		
_____ m	_____ m	_____ m	_____ m
_____ ft	_____ ft	_____ ft	_____ ft

OBSERVATION TIMES AND STATUS

	OBS. TIMER	MEMORY	# of SATELLITES	POWER
START: _____ AM / PM	NA	FLSH GRN / FLSH RED / RED	___ GRN ___ RED	GRN / FLSH RED / RED
END: _____ AM / PM	1 / 2 / 3 / SOLID / NA	FLSH GRN / FLSH RED / RED	___ GRN ___ RED	GRN / FLSH RED / RED

ALERTS:

Office Checked By: _____

SITE SKETCH & NOTES:

OBSTRUCTION DIAGRAM	MONUMENT RUBBING / DESCRIPTION
	<p style="text-align: center;">MONUMENT RUBBING / DESCRIPTION</p>

ANEXO

PROYECTO GALILEO

Historia

Inicialmente Galileo iba a estar disponible en el 2008 aunque el proyecto acumula ya tres años de retraso y no podrá comercializar sus primeros servicios hasta 2011, entre temores de que esa fecha pueda demorarse hasta 2014, entre otros motivos, por disensiones entre los países participantes.

El 28 de diciembre de 2005 se lanzó el satélite Giove-A (*Galileo in-orbit validation element*), primero de este sistema de localización por satélite, desde el cosmódromo de Baikonur, en Kazajistán. El segundo de los satélites de prueba, el Giove-B debería haberse lanzado en abril de 2006, pero por problemas con el ordenador de a bordo el lanzamiento fue retrasado hasta el pasado 25 de abril de 2008, teniendo lugar desde el mismo cosmódromo.

En abril de 2004 entró en funcionamiento el **sistema EGNOS**, un sistema de apoyo al GPS para mejorar la precisión de las localizaciones. En otras regiones del mundo hay otros sistemas similares compatibles con EGNOS: WAAS de Estados Unidos, MSAS de Japón y el GAGAN de la India.

Las fases establecidas para la implementación del sistema son:

- Definición (2000-2003)
- Desarrollo y validación en órbita (2004-2008)
- Despliegue (2008-2010)
- Explotación comercial (a partir de 2010 - 2015)

Características técnicas y prestaciones

Este Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) además de prestar servicios de autonomía en radionavegación y ubicación en el espacio, será interoperable con los sistemas GPS y GLONASS.

El usuario podrá calcular su posición con un receptor que utilizará satélites de distintas constelaciones. Al ofrecer dos frecuencias en su versión estándar, Galileo brindará ubicación en el espacio en tiempo real con una precisión del orden de metros, algo sin precedentes en los sistemas públicos.

Del mismo modo, los satélites Galileo, a diferencia de los que forman la malla GPS, estarán en órbitas ligeramente más inclinadas hacia los polos. De este modo sus datos serán más exactos en las regiones cercanas a los polos, donde los satélites estadounidenses pierden notablemente su precisión.

Asimismo, garantizará la disponibilidad continua del servicio, excepto en circunstancias extremas, e informará a los usuarios en segundos en caso del fallo de un satélite. Esto lo hace conveniente para aplicaciones donde la seguridad es crucial, tal como las aplicaciones ferroviarias, la conducción de automóviles o el control del tráfico aéreo. El uso combinado de Galileo y otros sistemas GNSS ofrecerá un gran nivel de prestaciones para todas las comunidades de usuarios del mundo entero.

Una preocupación importante de los actuales usuarios de la radionavegación por satélite es la fiabilidad y vulnerabilidad de la señal. En los últimos años, se han producido varios casos de interrupción del servicio por causas tales como interferencia accidental, fallos de los satélites, denegación o degradación de la señal. En este contexto, Galileo realizará una importante contribución a la reducción de estos problemas al proveer en forma independiente la transmisión de señales suplementarias de radionavegación en diferentes bandas de frecuencia. En total, utilizará 10 radiofrecuencias, de la siguiente manera:

- 4 frecuencias en el rango de 1164-1215 MHz (E5A-E5B)
- 3 frecuencias en el rango de 1260-1300 MHz (E6),
- 3 frecuencias en el rango de 1559-1591 MHz (L1).

Servicios

Galileo está concebido para usuarios multimodales. A fin de responder a las diferentes necesidades, el sistema proveerá cinco servicios.

Servicio abierto (Open Service – OS)

Orientado a aplicaciones para el público en general. Proveerá señales para proporcionar información precisa de tiempo y posicionamiento en forma gratuita.

Cualquier usuario equipado con un receptor podrá acceder a este servicio, sin necesidad de ninguna autorización. La precisión de posición y la disponibilidad serán superiores a las de GPS y sus versiones futuras. El servicio abierto permitirá a los usuarios que posean receptores de uso corriente determinar su posición con un margen de error de unos pocos metros. Se estima que la mayoría de los receptores utilizarán señales conjuntas de Galileo y GPS, lo que ofrecerá a los usuarios una notable mejora en la prestación de servicios en áreas urbanas.

Las frecuencias serán E5A, E5B, L1.

Servicio para aplicaciones críticas (Safety-of-Life - SoL)

Se utilizará para la mayoría de las aplicaciones de transporte donde la vida humana se podría poner en peligro si la prestación de los servicios del sistema de radionavegación se viera degradada sin notificación en tiempo real.

Este servicio proporcionará la misma precisión en posicionamiento y en información precisa de tiempo que el servicio abierto. La diferencia principal es el alto nivel de integridad de cobertura mundial para las aplicaciones donde la seguridad es crítica, como por ejemplo la navegación aérea y las aplicaciones ferroviarias donde la precisión garantizada es esencial. Este servicio aumentará la seguridad, especialmente donde no hay servicios tradicionales de infraestructura terrestre. Su alcance mundial aumentará la eficiencia de las empresas que operan a escala mundial como aerolíneas y compañías marítimas transoceánicas.

El servicio estará asegurado y sus prestaciones se obtendrán mediante el uso de receptores certificados de doble frecuencia. En tales condiciones la futura Sociedad de Explotación GALILEO (GALILEO Operating Company – GOC) garantizará el servicio Sol.

Las frecuencias: serán E5A, E5B, L1.

Servicio Comercial (Commercial Service – CS)

Estará orientado a aplicaciones de mercado que requieren un nivel superior de prestaciones que las que ofrece el servicio abierto. Brindará servicios de valor añadido a cambio del pago de un canon.

El servicio comercial agrega dos señales a las señales de acceso abierto. Este par de señales está protegido mediante cifrado comercial el cual será gestionado por los prestadores de servicios y la futura GOC. El acceso será controlado a nivel de receptor con claves de protección de acceso. Ejemplos de servicios típicos de valor añadido incluyen difusión de datos, garantías de servicio, servicios de información precisa de tiempo provisión de modelos de ionosféricos y señales locales de corrección diferencial para determinar proporcionar gran precisión. Varios de estos servicios serán desarrollados por terceros —prestadores regionales— quienes comprarán a la sociedad explotadora del sistema GALILEO Operating Company el derecho de uso de las señales comerciales.

La frecuencia será E6.

Servicio público regulado (Public Regulated Service – PRS)

Servicio "robusto" y de acceso controlado para aplicaciones gubernamentales. El servicio PRS será utilizado por usuarios tales como la policía y la aduana.

Instituciones civiles controlarán el acceso al servicio PRS cifrado cuyo ingreso por región o grupo de usuarios cumplirá las políticas de seguridad aplicables en toda Europa. Deberá estar operativo en todo momento y en cualquier circunstancia, especialmente en períodos de crisis o cuando otros servicios puedan estar interferidos intencionadamente. El PRS es un servicio independiente, en forma tal que otros servicios pueden ser denegados sin que esto afecte a la disponibilidad del servicio PRS. Una característica que destaca a al servicio PRS es la robustez de su señal, lo cual lo protege contra los efectos de las interferencias intencionadas y de los intentos de emisión intencionada de una señal modificada.

Las frecuencias serán E6 y L1.

Servicio de búsqueda y salvamento (Search and Rescue Service – SAR)

Este servicio brindará importantes mejoras al sistema de Búsqueda y Salvamento (SAR) existente, como por ejemplo:

- Recepción casi en tiempo real de mensajes de socorro transmitidos desde cualquier punto de la Tierra (el tiempo medio de espera es actualmente de una hora)
- Localización precisa de alertas (pocos metros, en lugar de los 5 km actualmente especificados)
- Detección por múltiples satélites para evitar el bloqueo en condiciones de poca visibilidad de los satélites
- Mayor disponibilidad del segmento espacial (30 satélites en órbita terrestre media que se añaden a los cuatro satélites en órbita terrestre baja y los tres satélites geoestacionarios del actual sistema).

Por otra parte Galileo introducirá nuevas funciones, tales como enlace de retorno (del operador del SAR a la baliza emisora de socorro). De esta forma, facilitará las operaciones de rescate y ayudará a reducir el índice de falsas alarmas. Este servicio se está definiendo en cooperación con los responsables del sistema COSPAS-SARSAT y sus características y operaciones se regulan bajo el control de la Organización Marítima Internacional (OMI) y la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI).

Características técnicas

El sistema Galileo estará formado por una constelación mundial de 36 satélites en órbita terrestre media distribuidos en tres planos inclinados con un ángulo de 56° hacia el ecuador, a 23.616 km de altitud. Se van a distribuir diez satélites alrededor de cada plano y cada uno tardará 14 horas para completar la órbita de la Tierra. Cada plano tiene un satélite de reserva activo, capaz de reemplazar a cualquier satélite que falle en ese plano.

Los satélites emplearán tecnologías de gran fiabilidad a la vez que innovadoras. El cuerpo rotará sobre el eje que mira a la Tierra para que sus paneles solares roten y apunten al Sol (generando un pico de energía de 1,5 kW). Después de que se establezca la constelación inicial, los demás satélites que se lancen reemplazarán a los dañados y completarán el sistema a medida que la vida útil de los satélites originales se extinga. Dos centros de control Galileo, ubicados en Europa, controlarán la constelación y la sincronización de los cronómetros atómicos del satélite, el procesamiento de señales de integridad y el manejo de datos de todos los elementos internos y externos. Una red de comunicaciones dedicada de alcance mundial interconectará todas las estaciones y las instalaciones terrestres mediante enlaces terrestres y satelitales (VSAT).

La transferencia de datos con los satélites se realizará a través de una red mundial de estaciones Galileo de enlace ascendente, cada una de las cuales tendrá estaciones de telemetría, telecomunicaciones, seguimiento de satélites y de transmisión de la información de misión. Las estaciones de monitoreo de GALILEO de todo el planeta controlarán la calidad de la señal. La información obtenida de estas estaciones se transmite por la red de comunicaciones a los dos centros de control terrestres.

Los componentes regionales proveerán, de forma independiente, la integridad de las señales de Galileo. Los prestadores de servicios regionales difundirán los datos de integridad regionales usando los canales de enlace ascendente autorizados provistos por el sistema. Se garantizará que los usuarios siempre reciban datos de integridad a través de dos satélites con un ángulo mínimo de elevación de 25°.

Los componentes locales mejorarán las prestaciones mencionadas anteriormente con distribución de datos locales por medio de radioenlaces terrestres o redes de comunicación existentes a fin de aumentar la precisión o la integridad alrededor de aeropuertos, puertos cabeza de líneas ferroviarias y en áreas urbanas. Los componentes locales también se desplegarán para ampliar los servicios de radionavegación a los usuarios situados dentro de edificios.

Financiación

Se estimaba que el proyecto tendría un coste de entre 2.200 y 2.950 millones de euros durante el periodo 1999-2008^[cita requerida], que podría variar según las aportaciones de otros gobiernos interesados en el sistema, siendo asumido en fases tempranas de su desarrollo por organismos gubernamentales europeos para después ser completado con 2/3 del total con capital privado. Las compañías involucradas más importantes son: EADS, las españolas Hispasat y AENA, la británica Inmarsat, la italiana Finmeccanica, las francesas Alcatel y Thales, y las alemanas Deutsche Telekom y German Aerospace Centre.

Sin embargo la puesta en funcionamiento del sistema se ha retrasado hasta 2010, por lo que el presupuesto total se estima en 3.400 millones de euros^[cita requerida].

En el año 2007 el ministro de Transporte de Alemania, Wolfgang Tiefenseese espera la creación de 150.000 puestos de trabajo relacionados con el sistema en la UE.

Participación China

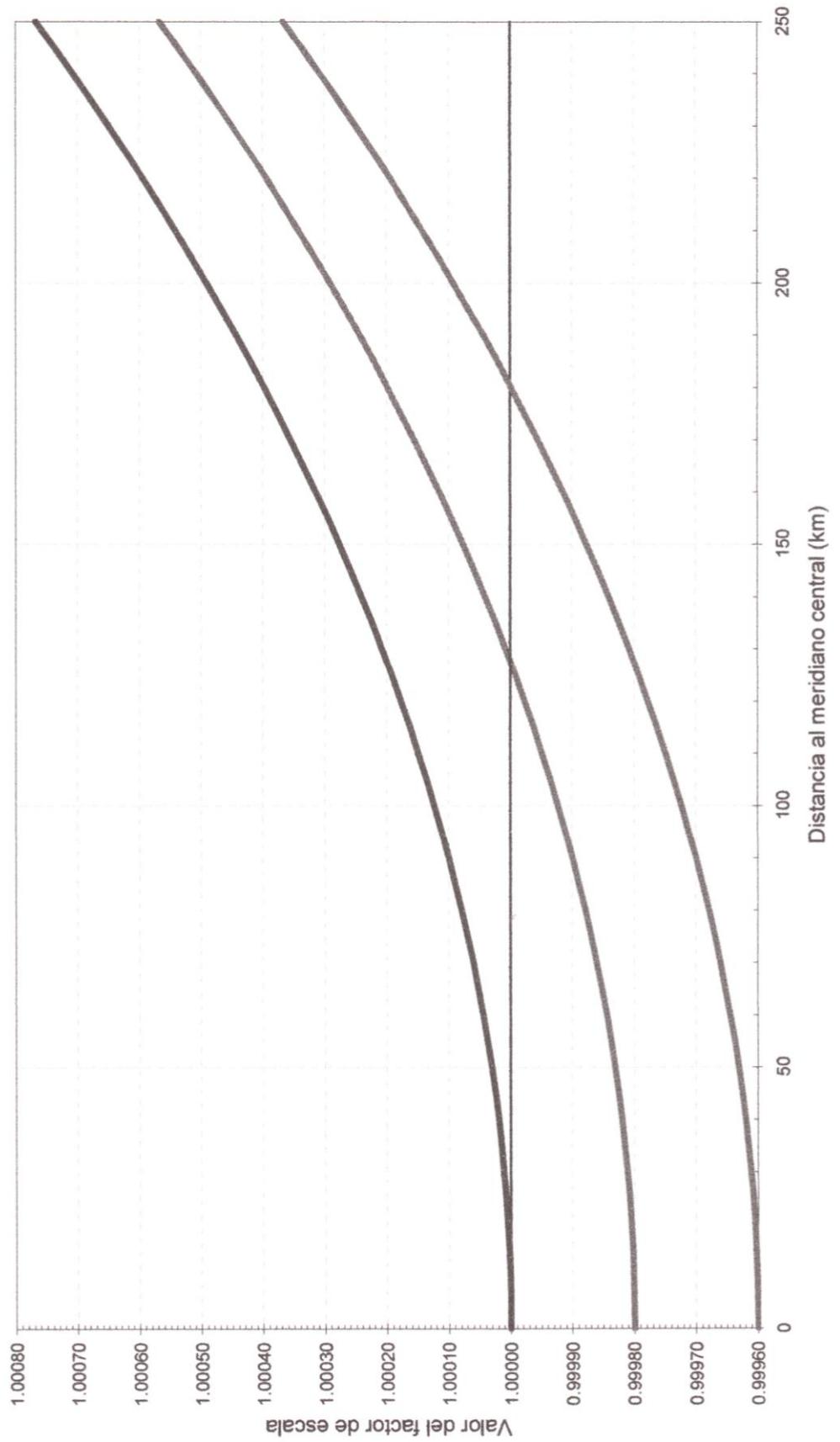
La República Popular China (RPC) es, desde el 9 de octubre de 2004, el primer país no europeo que participa en el programa Galileo, tras la firma del acuerdo en Pekín por la, en ese momento, vicepresidenta de la Comisión Europea, Loyola de Palacio.

China aportará 200 millones de euros del total de 3.200 millones del proyecto pese a las reticencias de algunos miembros europeos por transferir tecnología a China. En julio de 2005 la UE firmó contratos con varias compañías chinas para desarrollar aplicaciones comerciales para Galileo.

Se ha firmado ya un acuerdo con Israel y con India (septiembre de 2005), y se está en conversaciones con Brasil, Japón, Corea del Sur, Australia y Ucrania.

Consulta: <http://galileo-pgm.org/>

DESARROLLO DEL FACTOR DE ESCALA
EN LA PROYECCION TRANSVERSA DE MERCATOR



Corrección de distancias por el desarrollo de escala

Distancia al MC en km	$K_0 = 0.9996$ (UTM)	$K_0 = 0.9998$ (GTM)	$K_0 = 1.0000$ (TM)
0	0.99960	0.99980	1.00000
10	0.99960	0.99980	1.00000
20	0.99960	0.99980	1.00000
30	0.99961	0.99981	1.00001
40	0.99962	0.99982	1.00002
50	0.99963	0.99983	1.00003
60	0.99964	0.99984	1.00004
70	0.99966	0.99986	1.00006
80	0.99968	0.99988	1.00008
90	0.99970	0.99990	1.00010
100	0.99972	0.99992	1.00012
110	0.99975	0.99995	1.00015
120	0.99978	0.99998	1.00018
130	0.99981	1.00001	1.00021
140	0.99984	1.00004	1.00024
150	0.99988	1.00008	1.00028
160	0.99991	1.00011	1.00031
170	0.99996	1.00016	1.00036
180	1.00000	1.00020	1.00040
190	1.00004	1.00024	1.00044
200	1.00009	1.00029	1.00049
210	1.00014	1.00034	1.00054
220	1.00019	1.00039	1.00059
230	1.00025	1.00045	1.00065
240	1.00031	1.00051	1.00071
250	1.00037	1.00057	1.00077