

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

**MANUAL DE CONTROL HORIZONTAL Y VERTICAL EN
MEDIDAS TOPOGRÁFICAS**

José Saturnino Ordóñez Hernández
Asesorado por el Ing. Antonio Pellecer Solís

Guatemala, noviembre de 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MANUAL DE CONTROL HORIZONTAL Y VERTICAL EN MEDIDAS
TOPOGRÁFICAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JOSÉ SATURNINO ORDÓÑEZ HERNÁNDEZ
ASESORADO POR EL ING. ANTONIO PELLECCER SOLÍS
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2008

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 de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. José 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. Oscar Humberto Montes Estrada
EXAMINADOR	Ing. Gabriel Ordóñez Morales
EXAMINADOR	Ing. Alejandro Castañon
SECRETARIO	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:

MANUAL DE CONTROL HORIZONTAL Y VERTICAL EN MEDIDAS TOPOGRÁFICAS,

tema que fuera aprobado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, el 13 de agosto de 2007

José Saturnino Ordóñez Hernández

Guatemala, 3 de octubre de 2008


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 del estudiante José Saturnino Ordóñez Hernández, el cual se refiere a MANUAL DE CONTROL HORIZONTAL Y VERTICAL EN MEDIDAS TOPOGRÁFICAS.

Considero que dicho trabajo de graduación satisface los requisitos que exige la Facultad, por lo cual recomiendo que se continúe con los trámites para la aprobación de la misma.

Sin otro particular, me suscribo de usted atentamente.


Ing. Antonio Pellecer Solís
Colegiado No. 581
Asesor





Guatemala,
28 de octubre de 2008

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 **MANUAL DE CONTROL HORIZONTAL Y VERTICAL EN MEDIDAS TOPOGRÁFICAS**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil José Saturnino Ordóñez Hernández, quien contó con la asesoría del Ing. Antonio Pellecer Solís.

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 Amilcar Boiton Velásquez
Coordinador del Área de Topografía y Transporte



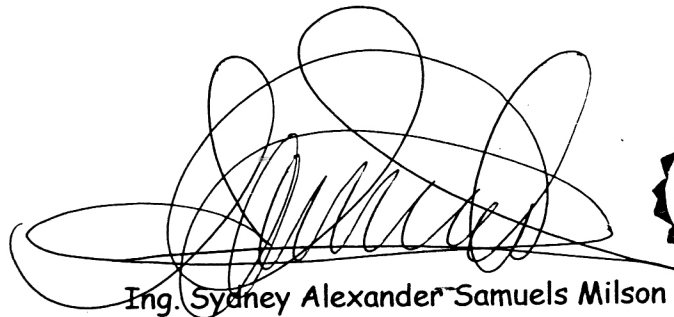
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
TRANSPORTES
USAC

/bbdeb.



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Antonio Pellecer Solís y del Coordinador del Área de Topografía y Transportes, Ing. Fernando Amilcar Boiton Velásquez, al trabajo de graduación del estudiante José Saturnino Ordóñez Hernández, titulado **MANUAL DE CONTROL HORIZONTAL Y VERTICAL EN MEDIDAS TOPOGRÁFICAS**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.



Ing. Sydney Alexander Samuels Milson



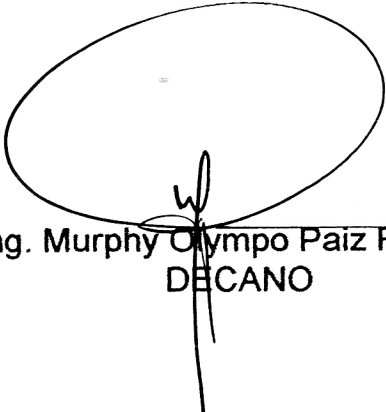
Guatemala, noviembre 2008.

/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: **MANUAL DE CONTROL HORIZONTAL Y VERTICAL EN MEDIDAS TOPOGRÁFICAS**, presentado por el estudiante universitario **José Saturnino Ordóñez Hernández**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO

Guatemala, noviembre de 2008



/gdech

AGRADECIMIENTOS A:

Dios, por darme constancia y sabiduría, para lograr alcanzar esta meta.

La Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Antonio Pellecer Solís, por su asesoría en el presente trabajo.

La Dirección de Límites y Aguas Internacionales por la colaboración presentada en la realización del presente trabajo de graduación, especialmente al Ing. Carlos Velásquez, Ing. Arnoldo Pérez, Manolo Fuentes, Leonel García.

IGN, en especial, a la sección de Geodesia, por su colaboración y apoyo moral.

INSIVUMEH, en especial, a la sección de HIDROLOGÍA, por su colaboración y apoyo moral.

DEDICATORIA A:

Mis padres:

José Luis Ordóñez Ochoa.
Esperanza Hernández de Ordóñez

Mis abuelos:

Saturnino Ordóñez (D.E.P)
Reginalda Ochoa (D.E.P)
Evangelina Hernández (D.E.P)

Mis hermanos:

Regina Esperanza Ordóñez Hernández
Luis Roberto Ordóñez Hernández
Ana Patricia Ordóñez Hernández
Juan Ramón Ordóñez Hernández
Carlos Enrique Ordóñez Hernández (D.E.P)

Mis sobrinos:

José Roberto, Cristian David, Ana Luisa, Jesús, Juan
Manuel.

Mis padrinos:

José Efraín Aguilera Vizcarra
Ana María Díaz de Aguilera

A mis familiares y amigos

En especial a:

Luis Fernando Escobar, Rafael Castillo, Rossella
Castañeda, Jorge Hernández, Erick Pérez, Manuel
Alvarado, Diego Morales, Vicente Carranza, Luis Cerna,
Rafael Romero, Nidia De Zea, Verónica González, José
Oliva, Darío Oliva, Jesús Morales, Juan Carlos Hernández y
a Don Alejandro Ortíz (D.E.P)

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XIX
OBJETIVOS	XXI
INTRODUCCIÓN	XXIII
GENERALIDADES	1
CONTROL HORIZONTAL TOPOGRÁFICO	3
1. OBSERVACIONES MAGNÉTICAS	7
1.1 Carta Isogónica	10
1.1.1 Determinación de la declinación del norte magnético	13
1.1.2 Determinación del acimut del norte verdadero	13
1.1.3 Ejemplo práctico	15
2. OBSERVACIONES ASTRONÓMICAS	17
2.1 Conceptos básicos	17
2.1.1 Trigonometría esférica celeste	21
2.1.2 Determinación del acimut celeste	26
2.1.3 Tiempo	29
2.1.4 Efemérides	34
2.2 Observaciones solares	36
2.2.1 Método de la altitud o del ángulo vertical	40
2.2.1.1 Ejemplo práctico	44
2.2.2 Método del ángulo horario de Greenwich	49
2.3 Estrella polar	53
2.3.1 Acimut de la polar	54

CONTROL VERTICAL TOPOGRÁFICO	57
3. ALTIMETRÍA	59
3.1 Nivelación	60
3.2 Nivelación corrida o nivelación simple	62
3.2.1 Ejemplo práctico	65
3.3 Nivelación barométrica	67
3.4 Especificaciones para nivelaciones cerradas	68
3.4.1 Nivelación de primer orden	68
3.4.2 Nivelación de segundo orden	68
3.4.3 Nivelación de tercer orden	69
3.4.4 Nivelación de cuarto orden	69
4. SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)	71
4.1 Fundamentos	72
4.1.1 Trilateración Satelital	73
4.1.2 Medición de distancia desde los satélites	75
4.1.3 Precisión en la medida del tiempo	77
4.1.4 Posicionamiento del satélite	77
4.1.5 Precisión en la medida del tiempo	78
4.1.6 Posicionamiento del satélite	78
4.1.7 Errores originados por el medio de propagación	78
4.2 Componentes del Sistema G.P.S.	81
4.2.1 El segmento usuario	81
4.2.2 El segmento espacial	83
4.3 Precisiones con G.P.S	84
4.4 Sistemas de coordenadas	85
4.5 Sistemas de proyecciones	86
4.6 Aplicaciones de los G.P.S	86
4.7 Orden y clase de exactitud en levantamientos con GPS	87

4.8	Navegadores GPS	92
4.8.1	Manejo de un navegador GPS Etrex Garmin o similar	93
	CONCLUSIONES	99
	RECOMENDACIONES	101
	BIBLIOGRAFÍA	103
	APÉNDICES	105
	ANEXOS	119

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Fracción de la hoja topográfica 1:50,000 del IGN, # 2059 I, Ciudad de Guatemala	4
2.	US/UK World Magnetic Model 2005	8
3.	Carta isogónica para 1978-1979 elaborada por INSIVUMEH	10
4.	Croquis norte verdadero magnético	13
5.	Trayectoria del Astro	17
6.	Declinación y ángulo horario de Greenwich	17
7.	Componentes del triángulo astronómico	22
8.	Croquis del triángulo astronómico	23
9.	Ángulo vertical a partir del horizonte	24
10.	Efecto de la refracción y el paralaje	25
11.	Tiempo estándar de las zonas del mundo	30
12.	Croquis norte astronómico	44

13.	Croquis nivelación	60
14.	Croquis nivelación corrida	61
15.	Representación gráfica del sistema de satélites artificiales NAVSTAR	66
16.	Punto que puede estar ubicado en cualquier lugar de la superficie de la esfera	68
17.	Círculo resultante de la intersección de dos esferas	69
18.	Puntos resultantes de intersección de tres esferas	69
19.	Punto resultante de la intersección de cuatro esferas	70
20.	Esquema de medición del tiempo de viaje de la señal	71
21.	Error de rutas múltiples o multipath	74
22.	Corrección diferencial	75
23.	Componentes del sistema G.P.S.	76
24.	Navegador GPS	88

TABLAS

I.	Corrección para Z.	51
II.	Orden y clase de exactitud relativa.	88
III.	Orden y clase de exactitud relativa.	89
IV.	Clasificaciones y especificaciones exclusivamente para Levantamientos con GPS diferenciales estáticos.	91
V.	Lineamientos para levantamientos GPS de acuerdo a su clasificación.	92

LISTA DE SÍMBOLOS

h	Altitud o ángulo vertical
GHA	Ángulo horario de Greenwich
LHA	Ángulo horario local
t	Ángulo meridiano
C	Cenit del observador
C/A	Código civil
GPS	Sistema de posicionamiento global
MHz	Mega Hertz
TCL	Tiempo civil local
PN	Polo Norte
S	Astro solar
C	Cenit del observador
Z	Ángulo acimutal
d	Declinación

R	Refracción
P	Paralaje
Fr	Factor de refracción
Fp	Factor de presión
Ft	Factor de temperatura
SNMM	Sobre el nivel medio del mar
IGN	Instituto Geográfico Nacional, Ing. Afredo Obiols

GLOSARIO

Acimut astronómico	En el punto de la observación, es el ángulo medido en el sentido de las agujas del reloj, a partir del plano vertical que pasa por el polo celeste, hasta el plano vertical que pasa por el objeto observado.
Altitud (h)	Es el ángulo medido a lo largo de un círculo vertical, a partir del horizonte hacia el astro. No debe confundirse esta palabra con la altura sobre el nivel del mar en el punto de observación
Ángulo horario de Greenwich (GHA)	Es el ángulo en el polo, medido hacia el oeste a partir del Primer Meridiano (Greenwich) hasta el meridiano del astro. El GHA es medido en el plano del ecuador celeste y varía de 0° a 360° . El GHA de un cuerpo celeste está aumentado continuamente moviéndose hacia el oeste con el tiempo.
Ángulo horario local (LHA)	Es el ángulo en el polo, medido hacia el oeste a partir del meridiano del observador hasta el círculo horario de un cuerpo celeste. El LHA es medido en el plano del ecuador celeste y varía de 0° a 360° .
Ángulo meridiano (t)	Es el ángulo medido hacia el Oeste o el Este del meridiano del observador hasta el círculo horario del

cuerpo celeste. Es siempre menor o igual que 180° ; por lo tanto:

Para $LHA < 180^\circ$; $t = LHA$

Para $LHA > 180^\circ$; $t = 360^\circ - LHA$

Ángulo PN

Es el ángulo en el polo norte celeste entre el meridiano del observador y el círculo horario del cuerpo celeste. Es lo mismo que el ángulo meridiano (t).

Ángulo paraláctico

Es el ángulo en el cuerpo celeste entre el polo celeste (P) y el cenit del observador (Z).

Ángulo Z

Es el ángulo horizontal entre la dirección norte del meridiano del observador y la dirección del astro. Varía entre 0° y 180° .

Bench Mark (BM)

Conocido también como Banco de Nivel, son puntos de referencia sobre un objeto fijo cuya elevación es conocida a un determinado nivel medio del mar y desde la cual se pueden determinar otras elevaciones

Cenit (C)

Es el punto ubicado verticalmente sobre la cabeza del observador donde la vertical del observador corta a la esfera celeste. Opuesto al cenit del observador está el nadir

Código C/A	Llamado código civil, es el que se moduló a la señal L de los satélites GPS. Este código provee una secuencia de un mil veintitrés códigos binarios bifásicos, arreglados en un patrón pseudoaleatorio, a un mil veintitrés Mhz, teniendo un período de repetición de un milisegundo.
Constelación	Grupo de satélites GPS, en un conjunto de veinticuatro satélites, de los cuales veintiuno se encuentran en seis planos orbitales y tres satélites se encuentran en reserva, tendiéndose a incrementar el número de satélites.
Corrección diferencial	Es el proceso de corregir posiciones GPS de un lugar desconocido en relación a datos recibidos simultáneamente en un punto conocido (base)
Datum	Dato o referencia. Punto de partida, línea o plano de referencia.
Declinación	Es la distancia angular medida a lo largo de un círculo horario, siendo norte (positiva) o sur (negativa), a partir del ecuador celeste hasta un astro. La declinación sobre la esfera celeste es similar a la latitud sobre la tierra.
Distancia cenital	Es la distancia angular a lo largo del círculo vertical desde el cenit del observador (C) hasta el cuerpo

celeste (S). Así mismo, es igual a 90° menos la altitud (h) del astro y es conocida como la colatitud.

Esfera celeste

Para hacer las observaciones y ejecutar los cálculos de manera conveniente, todas las estrellas y los círculos celestiales coordinados, tales como el ecuador terrestre y los meridianos, son proyectados sobre una esfera imaginaria de radio infinito, la cual rodea a la Tierra. El centro de la Tierra y el de la esfera celeste es el mismo. La tierra es asumida como estacionaria, mientras que la esfera celeste rota de este a oeste, alrededor de una línea que coincide con el eje de la Tierra.

GPS

Sistema de posicionamiento global. Consiste en tres segmentos:

El espacial: Actualmente es un grupo de veinticuatro satélites NAVSTAR en seis órbitas diferentes.

El control terrestre: Consiste en una estación central, cinco estaciones de monitoreo y tres de ajuste.

El usuario: Es toda la gama de receptores terrestres GPS que opera en tierra.

Horizonte

Es un círculo máximo, sobre la esfera celeste, definido por un plano que es perpendicular a la vertical del observador.

Latitud (ϕ)	Es el ángulo medido, a lo largo de un meridiano, Norte (positivo) o Sur (negativo), a partir del ecuador, hasta un punto dado. La latitud varía de 0° a 90° , al norte o al sur del Ecuador. Si la latitud es norte es positiva y si es sur es negativa.
Línea meridiana	Es la intersección del plano meridiano y del plano horizontal en un lugar dado.
Longitud (λ)	Es el ángulo medido en los polos, al oeste o este, a partir del Primer Meridiano o Meridiano de Greenwich, hasta otro meridiano. La longitud varía de 0° a 180° , al oeste o al este. Si es al Oeste, se le llama longitud Oeste (λW). Si es al Este, se le llama longitud Este (λE).
Meridiano	Es el círculo horario que incluye el cenit del observador y representa la dirección norte-sur en esa localización.
Meridiano de Greenwich o primer paralelo	En las observaciones celeste, se aplica a la línea de referencia usada para medir longitudes; su longitud es 0° . Pasa a través del Real Observatorio Naval de Greenwich, Inglaterra, por lo que es llamado Meridiano de Greenwich, además de Primer Meridiano.

MHz (Mega Hertz)	Unidad de medida de la frecuencia, relacionada con un millón de repeticiones en una unidad de tiempo.
Navstar	Son las siglas con que se designa a los satélites GPS, del acrónimo formado de NAV igation S atellite T iming A nd R anging.
Paralaje	Es el desplazamiento aparente de un punto, respecto a un sistema de referencia, causado por una desviación en la estación de observación. Las observaciones celestes son consideradas para ser hechas desde el centro de la Tierra en vez de la superficie terrestre (un desplazamiento de 3,963 millas equivalente a 6,378 km.), aproximadamente. La corrección por paralaje para esta desviación en la estación del observador puede ser requerida para la aplicación de algunos métodos de observación (método de la altitud o ángulo vertical).
Plano meridiano	Es el plano que, en un lugar dado, contiene la vertical del mismo y el eje de rotación de la Tierra.
SA (Selec Availability)	Degradación deliberada de la señal de los satélites GPS por el Departamento de la Defensa de los Estados Unidos de Norte América. Controla la precisión de las medidas pseudoaleatorias en la cual el usuario obtiene un error de posición por una cantidad regulada. El error puede ser de hasta

trecientos metros, pero puede ser eliminado con técnicas de corrección diferencial.

Tiempo Civil Local (TCL) Es el tiempo civil contado precisamente desde el meridiano de longitud donde se hace la observación. Para convertir un instante de tiempo, contado desde cualquier meridiano, en GCT, se suma 1 hora por cada 15° de longitud oeste y se resta por cada 15° de longitud este. Naturalmente, cuando el valor de la longitud no es divisible por 15° , resultarán horas fraccionarias.

Triangulo astronómico Es el triángulo astronómico formado al oeste o al este del meridiano del observador y definido por tres puntos: El polo celeste, el cenit del observador, y el cuerpo celeste sobre el cual es hecha la observación.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación, involucra diferentes temas necesarios en topografía, los cuales son:

Observaciones magnéticas,
Observaciones astronómicas,
Altimetría y
GPS.

Los temas fueron desarrollados de manera de complementar lo tradicional con los avances tecnológicos expuestos de una forma práctica. En lo referente a observaciones magnéticas, estas son realizadas cuando no se requiere una orientación astronómica. Ahora bien, las observaciones astronómicas en contra de lo que se cree generalmente, son fáciles de realizar y su calculo es sencillo, por lo que debe estimularse su uso.

El uso del norte astronómico es sumamente útil, pues aparte de establecer el acimut de partida en poligonales cerradas, sirve el chequeo de poligonales abiertas, como es el caso de carreteras, líneas de transmisión eléctrica, canales de riego y otras obras similares de la ingeniería civil. Teniendo todas las zonas de Guatemala un gran porcentaje de días soleados, la determinación del acimut astronómico es conveniente para la planificación arquitectónica en cuanto a iluminación y control ambiental.

Como se expone en este trabajo de graduación, es conveniente enlazar las nivelaciones al banco de nivel (bench mark) más próximo del área de trabajo, para tener las alturas reales del terreno sobre el nivel del mar. Sin embargo, cuando por razones de acceso o distancia no sea posible realizar

dicho enlace, recurriremos al uso de un altímetro que tenga una precisión aceptable para nuestros fines, de manera de no usar puntos de partida de nivelación arbitrarios.

Finalmente, en la actualidad se dispone del uso de navegadores GPS, los cuales permiten posicionar a los terrenos dentro del sistema geográfico nacional con cierta precisión (aproximadamente 5 m).

OBJETIVOS

General:

Dar a conocer, a través del presente manual, la determinación del control horizontal y vertical topográficos, a través de una metodología en algunos casos novedosa.

Específicos:

1. Proporcionar a estudiantes y profesionales dicha metodología.
2. Posicionar los levantamientos topográficos dentro del sistema geográfico nacional.
3. Obviar el uso de métodos complejos y engorrosos, presentando una alternativa funcional.
4. Establecer una base para futuras aportaciones conforme los avances tecnológicos.

INTRODUCCIÓN

La ingeniería civil desarrolla diferentes disciplinas, en la cual encontramos la topografía; ésta es muy importante ya que nos ayuda a conocer con cierta exactitud, la forma y el tamaño de un determinado sector de la superficie terrestre y representarla como una superficie plana, aunque sin tomar en cuenta la curvatura de la tierra, lo cual pertenece a la geodesia. La escogencia del método a usar ya sea topográfico o geodésico dependerá de la extensión y la finalidad del trabajo.

El control horizontal y vertical geodésicos están ampliamente cubierto en los manuales y textos correspondientes. Sin embargo, actualmente existe un vacío en el tema del control horizontal y vertical topográficos y éste necesita ser ampliado debido a la introducción del avance tecnológico, como lo es el uso de los navegadores GPS y, así mismo, también es necesario el reforzamiento del conocimiento y manejo de la astronomía aplicada a la ingeniería civil, ya sea a nivel de repaso o aprendizaje. Lo anterior se aplica de igual manera a la nivelación con fines topográficos.

En virtud de lo anterior, este manual pretende proporcionar una herramienta fácil y rápida para el control horizontal y vertical en las medidas topográficas, mediante la exposición del uso de orientación magnética, astronómica, sistema de posicionamiento global (GPS), bancos de nivel (BENCH MARK) y altímetro. La metodología que se expone en este manual no es novedosa, pero se encuentra un tanto dispersa y no siempre es asequible por esta razón. Por lo tanto, se consideró conveniente mostrarla en este manual, de una manera sistemática, para beneficio de la práctica de las poligonales topográficas y de la nivelación de terrenos.

GENERALIDADES

El globo terrestre puede ser representado por medio de una esfera, forma poco práctica e incómoda para hacerlo, cuando se trata solamente de una porción de la tierra y cuando la escala requerida es tal, que las dimensiones de la esfera resultarían imposibles.

Por estos motivos se hace la representación sobre un papel, obteniendo lo que llamamos un “**MAPA**”. En los mapas debe tomarse en cuenta la curvatura terrestre, lo que trae consigo el no paralelismo de los meridianos. Todos los procedimientos usados para la obtención de los datos necesarios para este tipo de mapas y la elaboración de los mismos pertenecen a la “**GEODESIA**” y por lo tanto salen del margen de nuestro estudio. Cuando la porción de tierra es tal, que no amerita tomar en cuenta la curvatura terrestre y que por lo tanto, la representación del terreno no es más que una proyección del mismo sobre un plano horizontal, que a su vez viene dado por el papel, el dibujo así efectuado se denomina “**PLANO**” y la serie de trabajos y operaciones necesarias para obtener la forma la “**TOPOGRAFÍA**”.

En resumen, llamando al conjunto de trabajos que se efectúan para obtener los datos necesarios para representar porciones terrestres, **LEVANTAMIENTOS**, tenemos:

LEVANTAMIENTOS GEODESICOS

Son aquellos en los que se toma en cuenta la curvatura terrestre, siendo su uso general la obtención de los mapas de los continentes naciones, mares, costas y terrenos de gran extensión, mayores de

111,450 km²., de acuerdo al artículo 15 de la ley de agrimensura de Guatemala.

LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS

Son aquellos en los cuales no es menester tomar en cuenta la curvatura terrestre. Usos: en medidas de fincas, ciudades, vías de comunicación trabajos hidráulicos, trabajos en minas, trazo de túneles etc.

Ahora bien, aunque este trabajo está dirigido a la realización de medidas topográficas y no geodésicas, se mencionarán nociones sobre geodesia con el objeto de que si se desea profundizar los conocimientos de esta se disponga de un conocimiento básico de referencia.

CONTROL HORIZONTAL TOPOGRÁFICO

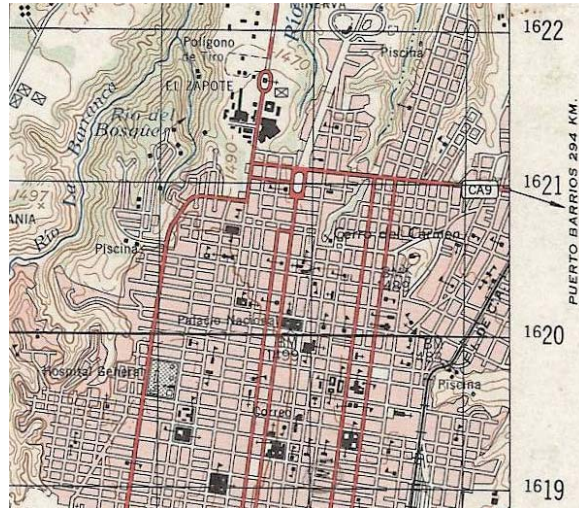
El control horizontal topográfico consiste en la determinación de un sistema de diversos puntos o vértices, referidos a un sistema coordinado topográfico, en el cual se determinan la latitud y longitud de los mismos, sin tomar en cuenta la curvatura de tierra. El estudio en la presente tesis esta enfocado únicamente al área de topografía

Al respecto, la planimetría consiste en la realización de los trabajos efectuados para obtener la representación grafica de un terreno proyectado sobre un plano horizontal. Por lo tanto, la planimetría abarca únicamente dos dimensiones planas; aquí no interesan las diferencias relativas de las elevaciones entre los diferentes puntos del terreno.

El posicionamiento topográfico es la determinación de las coordenadas topográficas sobre una superficie plana, que representa el terreno, a fin de definir con precisión las relaciones espaciales existentes de distancias y direcciones entre puntos.

Los hojas cartográficas o mapas aportan información importante a la topografía, siendo medios análogos para determinar las distancias y direcciones, referidas a un punto de partida denominado DATUM, los cuales se seleccionan de acuerdo a su uso, según la región y la época. En Guatemala sean usado los datums de Ocotepeque, NAD27 y actualmente el WGS84. Guatemala tiene la ventaja de tener mapeado su territorio en un 100% a escala 1:50,000. Se adjunta el mapa topográfico índice del IGN (apéndice A).

Figura 1. Fracción de la hoja topográfica 1:50,000 del IGN, # 2059 I, Ciudad de Guatemala



El posicionamiento topográfico utiliza tres métodos de control horizontal que son:

- Triangulación
- Trilateración
- Poligonación

La triangulación consiste en medir los ángulos de una serie de triángulos, a partir de una línea base.

La trilateración es básicamente similar a la triangulación, con excepción de que se basa exclusivamente en mediciones de distancia y no requiere la medición de ángulos.

La poligonación consiste en la medición de distancias y de ángulos, en poligonales cerradas y abiertas. Este método es el más usado en los levantamientos topográficos y es al que nos referiremos en esta tesis, a través de observaciones magnéticas, astronómicas y navegador GPS.

En las medidas topográficas, para poligonales cerradas, las tolerancias permitidas por la Ley de Agrimensura vigente, resultan ya anacrónicas, pues son demasiado amplias, no estando acordes con las capacidades de medición actual.

1. OBSERVACIONES MAGNÉTICAS

El conocimiento del magnetismo y de algunas de sus propiedades se remonta a más de 2000 años antes de Cristo, época en que según los historiadores, los chinos ya hacían uso de la aguja magnética. Dicho conocimiento fue extendiéndose con el tiempo hasta llegar a los griegos y romanos. Los marinos del Mediterráneo recibieron de los árabes el conocimiento de la brújula y la usaban para orientarse. Los navegantes españoles y portugueses notaron las anomalías de la aguja magnética y en el primer viaje de Colón se comprobó la declinación magnética.

Como es sabido la medida del magnetismo terrestre, en cualquier punto, consiste en la determinación de la intensidad y dirección del campo magnético; si no ocurriera fenómeno alguno capaz de alterarlo, el campo magnético sería constante. Sin embargo, la formación de montañas, eliminación de las mismas en ciertos períodos geológicos, o alteraciones en el interior de la tierra, constituyen el factor que hace que el campo magnético varíe con el tiempo.

Las causas del magnetismo terrestre son al parecer múltiples. No cabe duda que el sol ejerce una acción, así como el magnetismo de ciertas rocas. Ya sea que la tierra actúe como un gran imán o que simplemente se comporte como tal debido a las corrientes eléctricas que la circundan, denominadas también corrientes telúricas, siempre está rodeada de un campo magnético al cual aún no se le ha encontrado una explicación satisfactoria. El hecho de que un imán suspendido tienda a orientarse siempre en una dirección bien definida nos revela la existencia de ese campo.

En la actualidad en las medidas topográficas utilizamos la brújula, cuya aguja es un imán, y que es un instrumento de amplio uso, el cual nos

proporciona una orientación Norte-Sur; se encuentran desde las pequeñas brújulas de bolsillo muy útiles en operaciones preliminares de poca precisión, hasta teodolitos con brújula que basados en el mismo principio nos proporcionan siempre dicha orientación, pero constituyen aparatos más complejos y precisos, los que se usan en trabajos de mayor importancia.

Existen teodolitos dotados de una brújula fija o sobrepuesta y otros aparatos tienen brújulas de cuadrante reducido llamadas declinatorias que sirven solamente para dar la orientación Norte-Sur inicial.

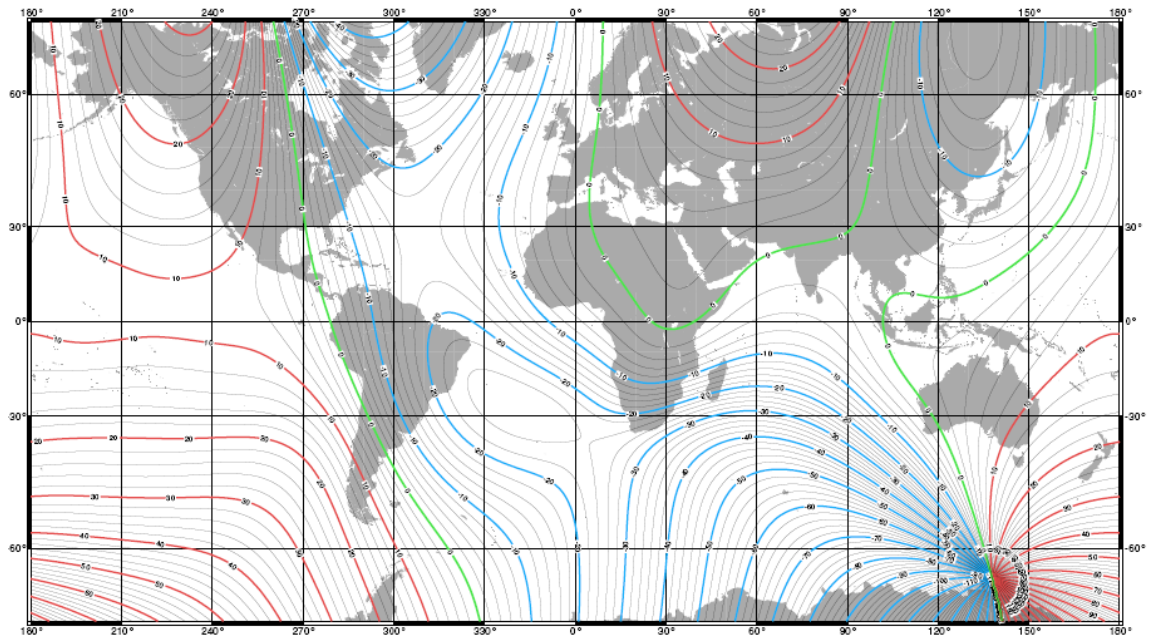
Hay varias clases de variación magnética siendo las principales la variación secular y la variación diaria.

La variación secular es de carácter periódico y requiere dos o tres centurias para completar un ciclo. Esta variación se asemeja a un movimiento pendular y su magnitud cambia año con año. En la actualidad y por muchos años más, Guatemala estará situada en una zona de variación cero, favorable para nosotros, como se puede apreciar en la figura 2.

La variación diaria consiste en un cambio de magnitud de la declinación durante el día; su rango es de 10' a 12' por día, con una posición media a las 10:30 horas y a las 20:00 horas. Su variación máxima se presenta a las 8:00 horas con desviación al Este y a las 13:30 horas con desviación Oeste.

La amplitud de la variación diurna es afectada según las estaciones, el lugar y el número de manchas solares. Finalmente, la declinación sufre variaciones accidentales (tormentas magnéticas) que suelen coincidir muy frecuentemente con auroras boreales, erupciones volcánicas o temblores de tierra.

Figura 2. US/UK World Magnetic Model 2005



Al efectuar un levantamiento usando orientación magnética, se debe de tomar en cuenta la posibilidad de que la aguja magnética sea desviada por objetos que pudieran atraerla, por lo que es necesario retirarlos; por ejemplo, la montura metálica de los anteojos del observador podría afectar a dicha aguja magnética, así como bolígrafos metálicos etc.

Por otra parte, existe lo que se denomina **“Atracción Local”** la cual puede provenir de minerales magnéticos dentro de la tierra o de la cercanía de una vía férrea o de una línea de alta tensión, de un poste de hierro o de la un alambreado muy cercano; por lo que se debe considerar, hasta donde se pueda, la posibilidad de existencia de atracción total.

1.1 Carta isogónica.

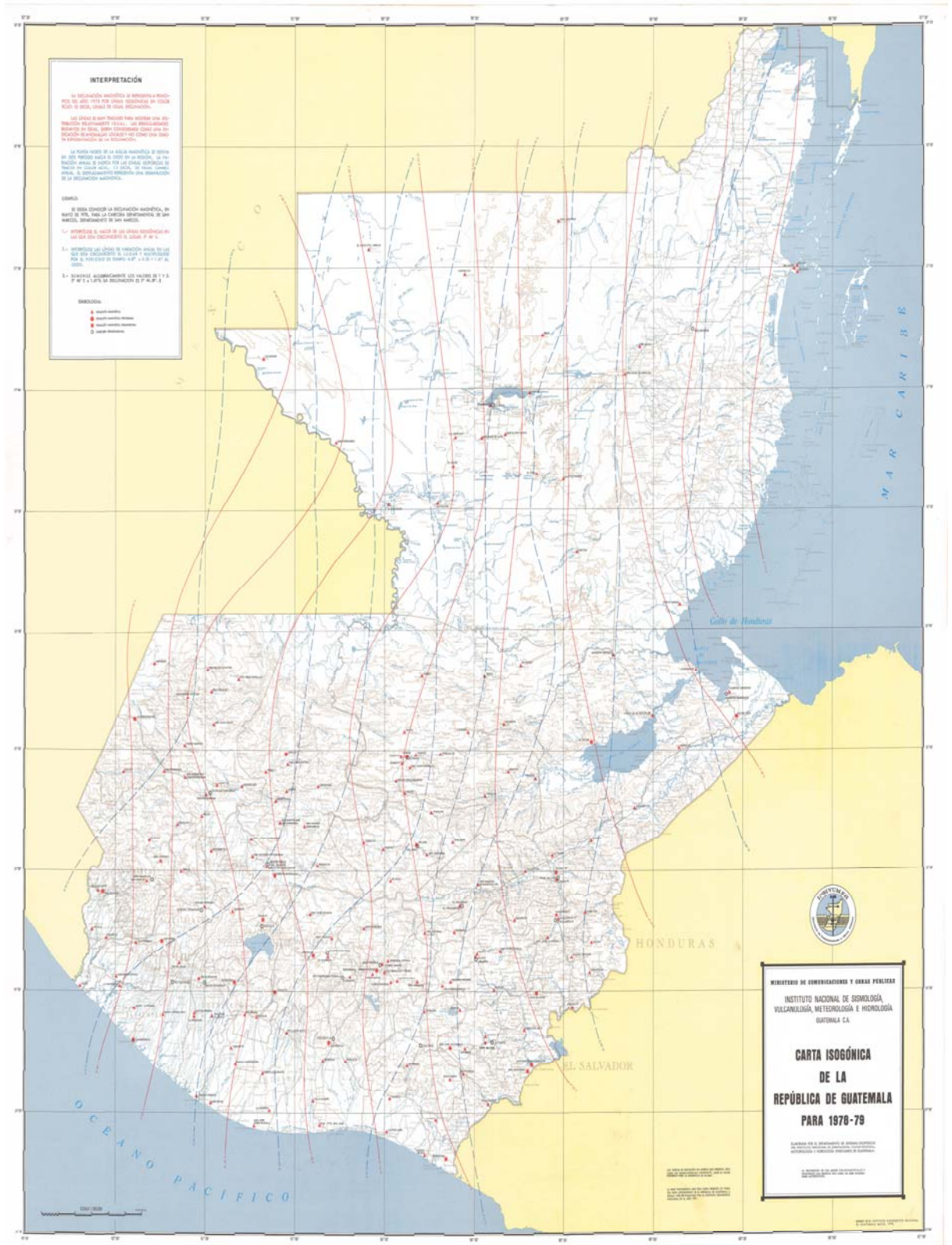
Si se sigue la dirección indicada por la aguja de un imán, no se llegará al polo norte terrestre sino al polo magnético el cual no coincide con el primero. Este fenómeno es lo que desvía la aguja de un imán con respecto a la orientación astronómica y se denomina ***declinación magnética***. Su magnitud varía con respecto al lugar y puede desviarse la aguja tanto al Este como al Oeste.

Entre las desviaciones hacia un lado y otro existe una serie de puntos, donde no hay declinación o sea que la declinación es cero. A esta línea si la trazamos sobre un mapa la llamamos ***línea agónica***. Todas las demás líneas de declinación se llaman ***isogónicas***.

Por lo tanto, la declinación magnética es el ángulo formado por el norte magnético y el norte verdadero, y son llamadas isogónicas las líneas que unen puntos de igual declinación magnética. Un mapa que muestre estas líneas es llamado carta isogónica, ver figura 3.

Tradicionalmente las cartas isogónicas de Guatemala fueron elaboradas por el Instituto Geográfico Nacional de Guatemala, (IGN) y posteriormente por Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, (INSIVUMEH), pero a partir del año 1978 ya no se publicó ninguna carta isogónica, por falta de equipo y recursos económicos.

Figura 3. Carta isogónica para 1978-1979 elaborada por INSIVUMEH



1.1.1 Determinación de la declinación del norte magnético

Para conocer la declinación magnética para una fecha y lugar determinados, puede utilizarse una carta isogónica, procediéndose de la manera como esta descrito en la CARTA ISOGÓNICA DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA PARA 1978-1979 (figura 2), la cual fue la última editada por el INSIVUMEH, por lo que en Guatemala no se cuenta con una carta isogónica actualizada.

Sin embargo gracias a los avances de la informática, se dispone de un sitio web (<http://www.gabrielortiz.com>), el cual cuenta con una calculadora de estimación del valor de la declinación magnética, debiendo ingresarse como datos la latitud y longitud del lugar de observación, obtenidas de un mapa o un navegador GPS, así como la fecha de dicha observación.

1.1.2 Determinación del acimut del norte magnético verdadero

Para la determinación del acimut del norte verdadero se usará un teodolito con brújula o declinatoria. Se seguirán los siguientes pasos:

- 1.- Colocar el teodolito en la estación del observador.
- 2.- Centrar y nivelar el teodolito.

- 3.- Colocar en 0 en movimiento acimutal.
- 4.- Sin soltar el movimiento acimutal, usando el movimiento general, visar con la brújula o declinatoria el norte magnético.
- 5.- Liberando el movimiento acimutal visar una estación auxiliar o marca de referencia, pues es indispensable contar con una línea de base para poder replantear después la dirección del norte magnético.
- 6.- El ángulo acimutal entre el norte magnético y la marca de referencia será el acimut magnético
- 7.- Habiéndose determinado el valor de la declinación, esta se suma algebraicamente al acimut magnético, teniendo en cuenta que si la declinación es hacia el este su valor es positivo y si es al oeste es negativo, realizada la operación algebraica anterior obtenemos el norte magnético verdadero, el cual no alcanza la precisión del norte astronómico, pero en determinados trabajos será suficiente.

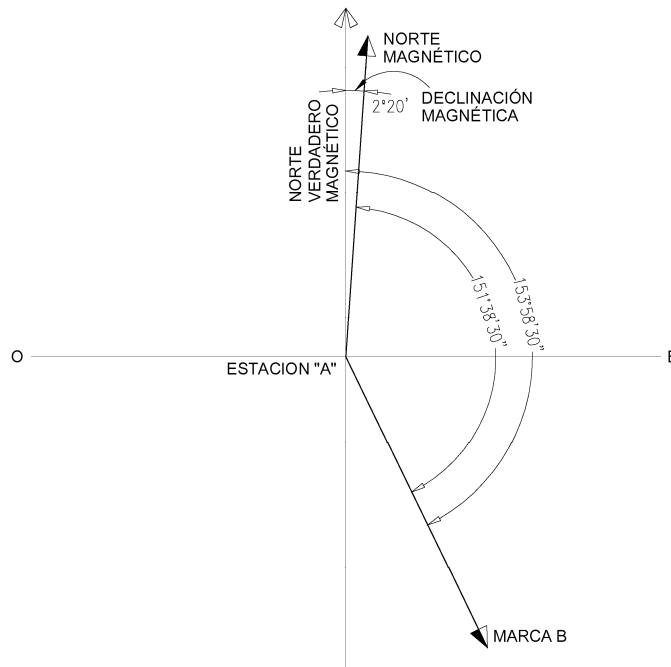
1.1.3 Ejemplo práctico

Datos:

Fecha: 6 de agosto de 2008
Equipo: Wild T-16 con brújula
Latitud: 14°37'58" (obtenido con navegador GPS)
Longitud: 90°30'39" (obtenido con navegador GPS)
Declinación magnética (Dm): 2°20' Este (obtenido de www.gabrielortiz.com)

Acimut magnético: 151°38'30"
Acimut corregido = Acimut magnético + Dm
Acimut corregido = 151°38'30" + 2°20'
Acimut corregido = 153°58'30"

Figura 4. Croquis norte verdadero magnético



2. OBSERVACIONES ASTRONÓMICAS

Al contrario de la orientación magnética, la orientación astronómica es permanente. Para su determinación se utiliza el sol, la estrella polar u otras estrellas, por lo que la ley de agrimensura estipula su uso para terrenos de ciertas dimensiones.

Las orientaciones astronómicas se utilizan principalmente para los siguientes propósitos: dar permanencia a las direcciones de lindes, relacionar levantamientos, comprobar los ángulos de itinerarios de gran longitud y orientar mapas o planos. Se utilizan también para orientar antenas direccionales de radio o radar, ejes polares de instrumentos astronómicos o dispositivos similares, constituyen un elemento importante en trabajos geodésicos y en la determinación de declinaciones magnéticas.

La orientación y la posición determinadas astronómicamente no son exactamente las mismas que las determinadas por un método geodésico. Los adjetivos **astronómico** y **geodésico** se utilizan para distinguirlas. Ambas clases de orientaciones se suelen denominar orientaciones verdaderas para no confundirlas con las orientaciones magnéticas. No obstante esto, la palabra **verdadera** se reserva normalmente a las orientaciones astronómicas.

2.1 Conceptos básicos

A continuación se presentan los principios básicos necesarios en el desarrollo del presente trabajo de graduación, para estudio o repaso.

Para visualizar mejor la posición y el movimiento del sol, el conjunto de estrellas y los círculos coordenados celestes, éstos son proyectados

sobre una esfera de radio infinito que rodea la tierra. Se asume que esta esfera rota de tal manera que satisface la totalidad de los diversos movimientos de la tierra cuando ésta rota sobre su eje y gira alrededor del sol. Lo anterior se logra asumiendo los siguientes conceptos (ver figuras 5 y 6):

- La tierra es estacionaria, es decir no se mueve.
- Se considera la tierra como una esfera perfecta y no como geoide.
- El centro de la tierra es el centro del universo.
- El universo es un esfera perfecta de radio infinito, o esfera celeste, que tiene como centro la tierra, que, comparada con el tamaño de la esfera celeste, se reduce a un punto que, como se dijo anteriormente es el centro del universo.
- Los astros están contenidos en la superficie de la esfera celeste, o sea que han sido proyectados hacia fuera, a lo largo de líneas rectas que se extienden desde el centro mismo de la tierra hasta sus distintas posiciones en la superficie mencionada de la esfera celeste.

Aunque, como se dijo, la tierra, comparada con la esfera celeste, es un punto, en realidad se trata de dos esferas concéntricas, una infinitamente grande y otra infinitamente pequeña, pero en las cuales las características son las siguientes:

- El ecuador de la esfera celeste, o ecuador celeste, coincide con el ecuador de la tierra, o sea que están contenidos en el mismo plano. Dicho de otra manera, el ecuador de la esfera celeste está sobre la proyección el ecuador de la tierra.
- Cada meridiano de la esfera celeste, o meridiano celeste, coincide con un meridiano de la tierra, o sea que están contenidos en el mismo plano, es decir, cada meridiano de la esfera celeste está sobre la proyección del correspondiente meridiano de la tierra.

Con respecto a la tierra, la esfera celeste gira de este a oeste alrededor de una línea recta que coincide con el eje de la tierra o eje terrestre.

Por lo tanto, los polos Norte y Sur de la esfera celeste son las prolongaciones de los polos de la tierra, es decir hay correspondencia. Sin embargo, aunque la esfera celeste gira con todas sus estrellas alrededor de la tierra, el ecuador celeste y los meridianos celestes, siendo proyecciones del ecuador y meridianos de la tierra, permanecen inmóviles, como un molde fijo, toda vez que la tierra no se mueve.

Figura 5. Trayectoria del Astro

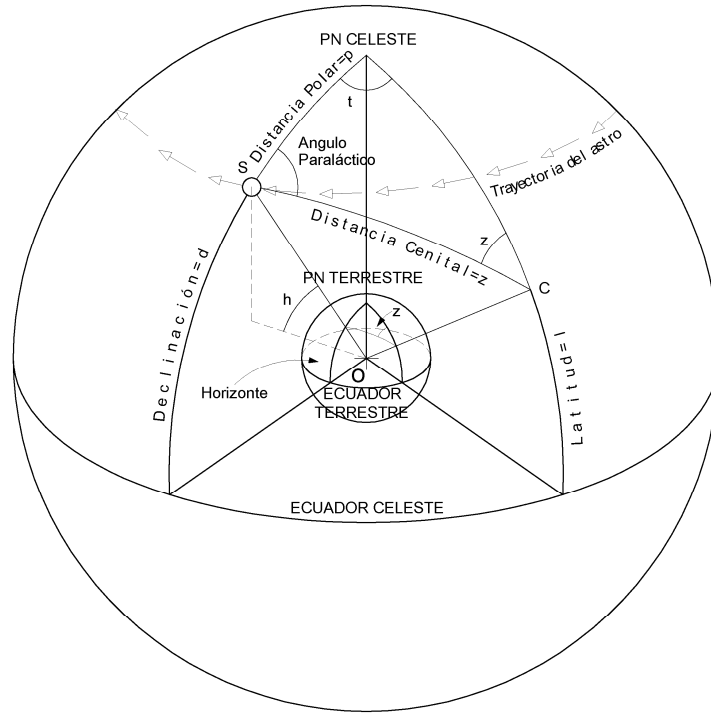
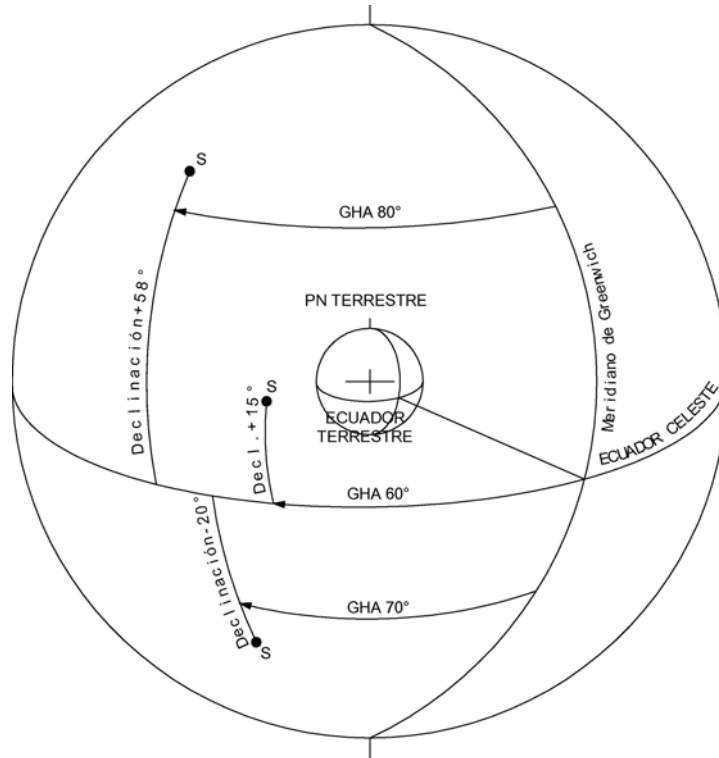


Figura 6. Declinación y ángulo horario de Greenwich



2.1.1 Trigonometría esférica celeste

Habiendo visto los conceptos de la determinación de un punto sobre la tierra e iniciado el estudio de los principios sobre los cuales está basada la observación astronómica se tratará a continuación sobre las relaciones de trigonometría esférica, las cuales se deben conocer para la determinación del acimut de una línea, de acuerdo al norte verdadero o norte astronómico.

Las definiciones y condiciones básicas de la trigonometría esférica son:

- Círculo máximo es la traza, sobre una esfera, de un plano que pasa a través del centro de la esfera,
- Triángulo esférico es, sobre una esfera, la figura limitada por los arcos de tres círculos máximos.
- Las partes de un triángulo esférico son seis: tres lados y tres ángulos. Cuando tres partes cualesquiera son conocidas, las otras tres pueden ser encontradas.

Tanto los lados como los ángulos son medidos en unidades angulares, generalmente en grados, minutos y segundos.

La longitud de un lado se mide por el ángulo diedro definido por los planos de círculos máximos que lo forman. Puede medirse también por el ángulo que definen las tangentes a los círculos

máximos en su intersección. Tres puntos cualesquiera de la esfera pueden unirse por arcos de círculo máximo para formar un triángulo en el cual ninguno de sus elementos sea superior a 180° . Este tipo de triángulo es el único que se considera en esta tesis.

Las figuras 5 y 6, ilustran la trigonometría esférica aplicada a la determinación del acimut verdadero de una línea en un levantamiento topográfico o, lo que es lo mismo, la determinación del norte verdadero o norte astronómico. Representa las condiciones que existen en el momento de la observación. Tenemos los siguientes puntos sobre la Esfera Celeste:

- PN es el Polo Norte. Es el que usaremos en nuestra metodología, por estar Guatemala en el Hemisferio Norte y por ser el Norte Verdadero lo que deseamos determinar.
- S es el astro. Las flechas representan su trayectoria en un día.
- C es el cenit del observador, quien está ubicado en la Tierra. C es entonces un punto sobre la Esfera Celeste establecido por la proyección del centro del instrumento (teodolito) del observador, en el momento de la observación, hacia arriba, a lo largo de la dirección opuesta a la de la gravedad.

Con estos puntos, es decir: PN, S y C, formamos un triángulo esférico que es el Triángulo Astronómico, a través de los círculos máximos que pasan por dichos puntos uniéndolos entre sí.

En la figura 7, se muestran los componentes que originan el Triángulo Astronómico PN-S-C. Estos son :

- Declinación (d): es la latitud geográfica del astro, a partir del Ecuador Celeste. Se determina a través de efemérides solares o estelares. Es coordenada celeste.
- Ángulo horario de Greenwich (GHA): Es la longitud geográfica oeste del astro, a partir del Meridiano de Greenwich, en el momento de la observación. El ángulo horario de Greenwich y la declinación, en un instante dado, están ligados, en función el uno del otro, es decir, son dependientes entre sí. Se determina a través de efemérides solares o estelares. Es coordenada celeste.
- Latitud (ϕ): Este componente de origen del Triángulo Astronómico es la latitud geográfica del lugar de la tierra, donde se halla ubicado el observador o sea, hablando en términos de la mayor precisión, es la latitud geográfica del centro del instrumento (teodolito). Se determina a través de mapas. Es coordenada terrestre que se proyecta hacia la esfera celeste con igual valor angular, como la latitud celeste.
- Longitud (λ): Es otro de los componentes de origen del Triángulo Astronómico. Es la longitud geográfica oeste, a partir del Meridiano de Greenwich, del lugar de la tierra donde se halla ubicado el observador, o sea, hablando en términos de la mayor precisión, es la longitud geográfica

oeste, a partir del Meridiano de Greenwich al centro del instrumento (teodolito). Se determina a través de mapas. Es coordenada terrestre que se proyecta hacia la esfera celeste con igual valor angular, como la longitud celeste.

Como puede verse en la figura 7, el Triángulo Astronómico cuenta con tres lados, los cuales son:

- Distancia Polar (PN-S). Es igual a 90° menos la declinación (d) del sol.
- Colatitud (PN-C). Es igual a 90° menos la latitud del observador.
- Distancia cenital (C-S). Es igual al ángulo cenital medido con el instrumento (teodolito) al apuntar al astro desde la estación en la que está ubicado el observador.

Así mismo, el triángulo astronómico cuenta con tres ángulos que son:

- Z que es el acimut astronómico del astro a partir de la línea PN-C, ya sea a la izquierda o a la derecha de esta línea con base en C, es decir que es el ángulo horizontal entre la dirección norte del meridiano del observador y la dirección del astro.
- S1 es el ángulo paraláctico. Generalmente no se usa el valor de este ángulo en esta clase de cálculos.

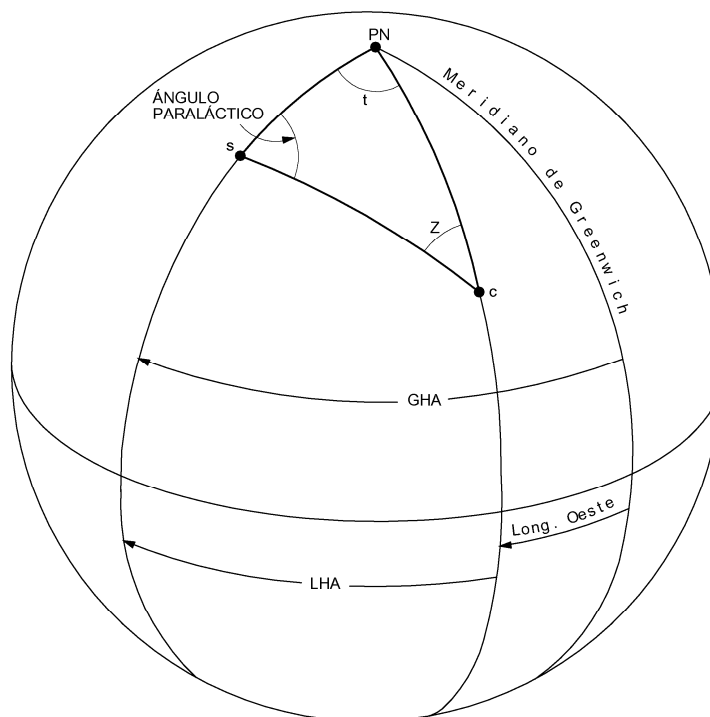
- t es el Ángulo Meridiano. Se determina a partir del ángulo horario local (LHA), el cual es el ángulo medido hacia el oeste alrededor del eje de la esfera celeste del meridiano de la observación del meridiano del astro

$$\text{LHA} = \text{GHA} - \text{Longitud W}$$

$$\text{LHA} = \text{GHA} + \text{Longitud E}$$

Cuando LHA es menor que 180° , entonces el astro está al Oeste del Norte y $t = \text{LHA}$; y cuando LHA es mayor de 180° , el astro está al Este del Norte y $t = 360^\circ - \text{LHA}$

Figura 7. Componentes del triángulo astronómico

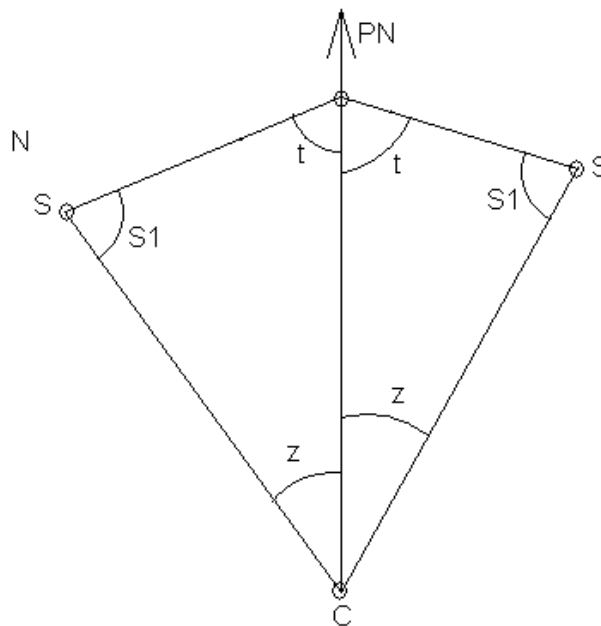


2.1.2 Determinación del acimut celeste

El objeto de la práctica de observación astronómica, ya sea solar o estelar para los fines de ingeniería, es determinar el norte astronómico en relación al punto donde está ubicado el observador.

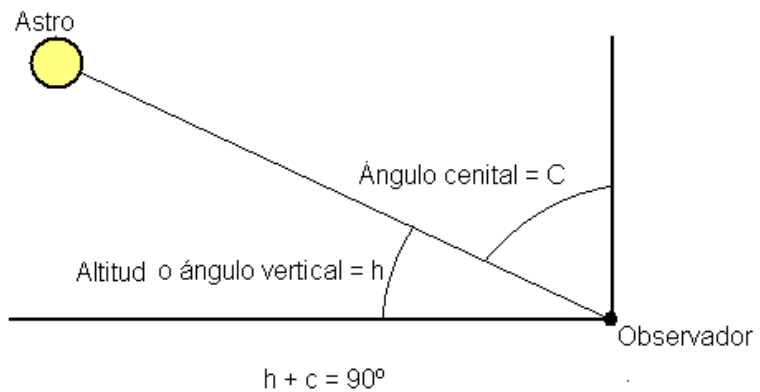
A partir de la figura 5, se puede dibujar el siguiente croquis:

Figura 8. Croquis del triángulo astronómico



Así mismo, debe considerarse la altitud del astro observado, la cual es el ángulo vertical (h) medido a partir del horizonte del observador hacia el astro. El ángulo cenital es el ángulo medido hacia el astro a partir del cenit del observador y es complementario de la altitud, ver figura 9.

Figura 9. Ángulo vertical a partir del horizonte



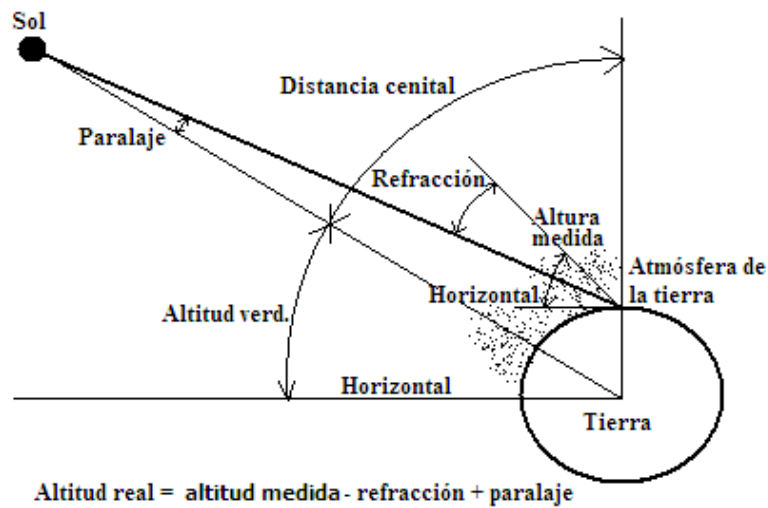
La altura verdadera se puede hallar observando en el campo la altitud del astro y corrigiendo el resultado por refracción y paralaje como se describe a continuación.

La figura 10 representa el efecto de la refracción y del paralaje. La altura verdadera se obtiene por medio de la fórmula siguiente:

$$\text{Altitud real} = h = \text{Altitud medida} - \text{refracción} + \text{paralaje}$$

El valor de la refracción está afectado por la altitud y, en un grado menor, por la densidad del aire, lo que desvía los rayos luminosos. Su efecto puede estimarse midiendo la altitud y la temperatura del terreno. El paralaje del sol es muy pequeño (nunca excede a 0.2') y el paralaje de las estrellas es infinitesimal por lo que no se corrige, en el caso del sol se corrige debido a que las observaciones no se hacen desde el centro de la esfera terrestre sino sobre la superficie de ésta.

Figura 10. Efecto de la refracción y el paralaje



Las líneas C-S y C-PN de la figura 8, se proyectan como rectas sobre el horizonte del observador, pudiendo ser determinado el ángulo Z o acimut astronómico, que es el que nos proporcionará la dirección del norte verdadero o astronómico, cuyo valor se obtiene a través de fórmulas de trigonometría.

En este trabajo no se expondrá la deducción de las fórmulas mencionadas por encontrarse en los textos de trigonometría esférica.

Puede usarse entre otras, las siguientes fórmulas:

$$\cos Z = \frac{\text{sen}(d) - \text{sen}(h)\text{sen}(\phi)}{\cos(h)\cos(\phi)}$$

y

$$Z = \text{tg}^{-1} \frac{-\text{sen}LHA}{\cos(\phi)\text{tg}(d) - \text{sen}(\phi)\cos LHA}$$

La primera será usada en el método de la altitud del ángulo vertical y la segunda en el método del ángulo horario de Greenwich, los cuales se expondrán más adelante.

2.1.3 Tiempo

Para los cálculos de observaciones astronómicas es indispensable conocer la hora del Meridiano de Greenwich con la precisión requerida. Greenwich es una ciudad de Inglaterra, cerca de Londres, a orillas del río Támesis; en el Observatorio de esta ciudad pasa el meridiano llamado el Meridiano de Greenwich, adoptado internacionalmente como origen de las longitudes geográficas, de las cuales las que crecen hacia la izquierda de dicho meridiano son longitudes oeste, y las que crecen hacia su derecha son longitudes este.

En nuestro caso, trabajaremos únicamente con longitudes Oeste por estar más cerca Guatemala de Greenwich en longitud Oeste que en longitud Este. Anteriormente, se utilizaron otros meridianos de origen, entre los cuales figuraba el de París, que fue muy usado, han sido abolidos; en la actualidad sólo se utiliza el Meridiano de Greenwich, como origen internacional.

La hora del Meridiano Greenwich, o Tiempo Civil de Greenwich, es el tiempo contado desde el momento de la medianoche en el Meridiano de Greenwich; este tiempo es llamado también Tiempo Universal y para obtenerlo basta con sintonizar a través de un radiorreceptor corriente de onda corta la

estación de radio de los Estados Unidos de América, conocida como la WWV en 2.5, 5, 10, 15 y 20 Mz.

Los mensajes de esta radioemisora se transmiten verbalmente cada minuto en inglés, indicando la hora del Meridiano de Greenwich, o Tiempo Universal, cada minuto. Con un poco de práctica se puede interpretar correctamente estos mensajes, aunque no se hable el idioma inglés, ya que el texto emitido es muy corto y sencillo. Para cálculos muy exactos, el Tiempo Universal puede obtenerse con gran precisión a partir de la corrección por el número de dobles pulsaciones que emite la WWV, que es el caso de las observaciones solares cuando se usa el Método del Angulo Horario de Greenwich.

Esta corrección se obtiene contando el número de dobles pulsaciones que siguen al tono emitido cada minuto por la WWV, cada doble pulsación representa un décimo de segundo y es positiva para los primeros siete segundos. Principiando con el noveno segundo, cada doble pulsación es una corrección negativa. La corrección total no excederá de 0.7 segundos. Aunque la corrección es muy pequeña, es fácil de aplicar y puede aumentar la precisión del norte astronómico.

Para las observaciones usando la estrella Polar no hay necesidad de corregir por el número de dobles pulsaciones, sino que se toma simplemente el tiempo emitido por la WWV.

Para convertir un momento de tiempo, contado desde cualquier meridiano de la Tierra, a Tiempo Civil de Greenwich, se

agrega al Tiempo Civil Local una hora por cada 15° de longitud oeste, entre el meridiano en cuestión y el Meridiano de Greenwich.

Para el Meridiano 90°, en el que cabe 6 veces la cantidad de 15°, obviamente deberá agregarse al Tiempo Civil Local la cantidad de 6 horas para obtener el Tiempo Civil de Greenwich.

Otros meridianos de tiempo, bastante conocidos y usados en otros países de América, según la posición del lugar son: Tiempo Estándar del Este (EST) que corresponde al Meridiano 75°; Tiempo Estándar de la Montaña (MST) que corresponde a 105°; Tiempo Standard del Pacífico (PST) que corresponde a 120°.

Debe tenerse la precaución de no tomar como tiempo civil local, en los cálculos, el tiempo modificado por los países, adelantando o retrasando la Hora Oficial para fines de economía de energía en invierno o verano. Lo que debe regir es simplemente la longitud geográfica del punto, con respecto a Greenwich.

La fórmula general para la determinación del Tiempo Universal o Tiempo Civil de Greenwich en el caso de Guatemala es:

**Tiempo Universal o Tiempo Civil de Greenwich para
Guatemala = Tiempo Civil Local de Guatemala + 6 horas**

Finalmente, para las observaciones solares usando el Método de la Altitud o del Ángulo Vertical no se requiere de tanta precisión como en el caso del Método del Ángulo Horario de Greenwich y puede usarse la hora correspondiente al Tiempo Civil Local, anunciada en la radio o la televisión o bien la hora oficial de TELGUA.

De esta sencilla manera obtenemos el Tiempo Universal o Tiempo Civil de Greenwich. Pasemos ahora a estudiar el Tiempo Civil de Greenwich. Pasemos ahora a estudiar el Tiempo Civil Local para Guatemala. Este se basa en el Meridiano 90° , que es el que rige la zona en la que está ubicado nuestro país, y es el tiempo contado a partir de la medianoche en el Meridiano 90° . Comúnmente se le llama “La Hora Oficial”.

Los Meridianos de Tiempo son zonas o franjas, a veces de forma un tanto irregular, que asignan el Tiempo Civil Local correspondiente a cada país, de acuerdo a lo convenido internacionalmente para determinado meridiano de la tierra. Para Guatemala, como se dijo anteriormente, rige el Tiempo Civil Local del Meridiano 90° , que es conocido internacionalmente como Tiempo Standard Central (CST). Ver figura 11.

2.1.4 Efemérides

En la actualidad existe dificultad de conseguir efemérides anuales solares para el método del ángulo horario de Greenwich y para la estrella Polar. En tiempos pasados, las efemérides solares para el método de la altitud o ángulo vertical, para la estrella Polar y otras estrellas, se obtenían en almacenes de artículos de ingeniería, tales como Biener & Tabush y la Librería San Carlos, que distribuyeron, de manera gratuita durante mucho tiempo, un manual editado por la compañía Keuffel & Esser de los Estados Unidos de Norte América.

Complementariamente, el Instituto Geográfico Nacional (IGN) editaba el “Pronóstico de Mareas” que contenía además efemérides con el mismo contenido que el manual aludido.

Sin embargo, las efemérides distribuidas por el comercio sufrían a veces cierto retraso en su llegada a Guatemala. Al pasar la parte de investigación hídrica del IGN, en el año de 1977, al Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), éste continuó editando el “Pronóstico de Mareas” acompañado siempre de efemérides. Con el tiempo, el manual de la Keuffel & Esser dejó de venir al país y el INSIVUMEH entre 1980 y 1984 no editó las efemérides astronómicas.

En el año de 1985 se publicaron solamente efemérides solares en la misma publicación del “Pronóstico de Mareas”. A partir del año de 1986, se principió a publicar la “Efemérides

Solar”, Separada del “ Pronóstico de Mareas”, la que ha sido publicada anualmente de manera ininterrumpida hasta la fecha.

Las efemérides del INSIVUMEH incluyendo las de 1985, contienen únicamente lo relativo al sol, con exclusión de la estrella Polar y otras estrellas, y están destinadas a ser usadas según el método de la altitud.

Debido a lo anteriormente expuesto, los ingenieros, estudiantes e instituciones, frecuentemente han tenido que encargar la adquisición de efemérides solares para el método de ángulo horario de Greenwich, principalmente a través de personas que viajan a los Estados Unidos o residen allá, lo que ha tenido un carácter eventual y tardío. Otra forma de adquisición, ha sido a través de la empresa CIRC, de Guatemala, la que, por solicitud de la persona o institución interesadas, ha colaborado mandando a traer a los Estados Unidos un manual editado anteriormente por la Compañía Lietz y actualmente por SOKKIA. Igualmente se han comprado directamente a SOKKIA las efemérides publicadas por dicha empresa. En resumen, con excepción de las efemérides del INSIVUMEH en la actualidad la adquisición de éstas no es fácil en nuestro medio.

2.2 Observaciones solares

Existen dos métodos para observar al sol con la finalidad de determinar el norte astronómico o verdadero, de manera de trasladar la imagen del centro del sol hacia el centro de la retícula de un teodolito o una estación total

El primer método consiste en la observación de la proyección de los hilos de la retícula sobre una hoja de papel blanco, al pasar los rayos solares a través del telescopio del teodolito, entrando dichos rayos por el objetivo y saliendo por el ocular; proyectándose los hilos según una sombra sobre la hoja de papel, cuya superficie debe colocarse perpendicularmente al eje del telescopio, a una distancia de separación del ocular de quince centímetros, aproximadamente, para principiar; esta distancia podrá aumentarse o disminuirse, según se necesite durante la observación. El ocular se desenrosca hasta que tope antes de iniciar la observación solar para que aparezcan los hilos en la proyección sobre la hoja de papel, pudiendo después ajustarse la posición del ocular para lograr la mayor nitidez. Por otra parte, el sol se proyectará en la hoja de papel según un círculo; para obtener la nitidez en esta proyección debe graduarse el enfoque.

Este método no puede usarse con estaciones totales pues se arruinarían sus componentes de medición electrónica de distancia (EDM). De igual forma, si un distanciometro está montado sobre el telescopio, dicho distanciometro deberá ser removido del telescopio o su lente cubierto con una tapadera antes de hacer observaciones solares.

Antes de practicar la observación se deberá proceder a la remoción de los obstáculos que impidan el paso de los rayos solares hacia el instrumento, tales como ramas, hojas, etc.

A continuación se seguirán los siguientes pasos:

- 1.- Colocar el teodolito en la estación.
- 2.- Centrar y nivelar el teodolito.
- 3.- Colocar en cero el movimiento acimutal.
- 4.- Desenroscar el ocular del telescopio del teodolito, hasta que tope, para que los hilos de la retícula puedan proyectarse en la hoja de papel, como se indicó anteriormente.
- 5.- Sin soltar el movimiento acimutal, usando el movimiento general, visar una estación auxiliar o marca de referencia, distante unos cien metros de la estación de observación, pues es indispensable contar con una línea de base para poder replantear después la dirección del norte astronómico.
- 6.- Liberando los botones de los movimientos acimutal y vertical se deberá colocar el telescopio del teodolito en tal posición que los rayos solares penetren por el objetivo y salgan por el ocular en una dirección paralela al eje del telescopio, proyectándose los hilos de la retícula y la imagen circular del sol sobre la superficie de una hoja de

papel, perpendicular al eje del telescopio, como se dijo anteriormente.

Para conseguir la colocación del anteojo, en la posición mencionada, el observador deberá trabajar siempre de espaldas al sol, con sombras únicamente y sin volver la vista hacia el sol, buscando la dirección de los rayos solares, lo cual no es necesario y no conviene a la salud de la vista. Lo que debe hacer el observador para obtener la primera aproximación de la dirección de los rayos solares, es contemplar su propia sombra y la del teodolito con su trípode, proyectadas sobre el terreno.

Seguidamente, usando los movimientos acimutal y vertical, conforme se vaya necesitando, proyectar, sobre la hoja de papel, la sombra del teodolito, viendo que el telescopio se proyecte según un círculo, que la mira coincida, que los botones que se proyecten lo hagan como rectángulos, llegando un momento en el que la imagen del sol destellará sobre la hoja de papel como un pequeño relámpago. En ese momento, deberán fijarse los movimientos acimutal y vertical.

La nitidez de las imágenes de los hilos y del disco solar se ajusta moviendo el ocular y el enfoque, hasta obtener un resultado satisfactorio. El trabajo se continúa, si el sol no se ha desplazado demasiado durante este ajuste, con los tornillos micrométricos de los movimientos acimutal y vertical. Si fuera necesario, se usará nuevamente el movimiento acimutal

o vertical, o ambos, hasta tener la imagen del sol aproximadamente centrada sobre la hoja.

El segundo método consiste en colocar en el ocular del telescopio del teodolito un lente especial de protección para el ojo, o filtro solar, que consiste en un vidrio oscurísimo o filtro solar. No deberá usarse ningún otro tipo de lente, que no sea el especificado por casas comerciales serias como lente especial de protección para el ojo, o sea filtro solar, para observaciones solares. En el caso de las estaciones totales el filtro solar se coloca en el objetivo del telescopio.

PRECAUCIÓN: Observar directamente el sol sin un filtro solar adecuado causara daños sumamente graves e irreversibles a los ojos.

Una vez centrada aproximadamente la imagen del sol en la retícula se continúa seleccionando en la siguiente etapa de observación uno de los siguientes métodos:

El primer método consiste en afinar lo mas posible el centro de la imagen del sol. Respecto a la selección de este método, tradicionalmente se ha considerado que debido a que la imagen del sol es grande en diámetro con treinta y dos minutos de arco aproximadamente, este método no puede dar una alta precisión, pero que su utilidad para chequeos rápidos y poco precisos es evidente.

Sin embargo en el informe detallado de la COMISIÓN TÉCNICA DE DEMARCACIÓN DE LA FRONTERA ENTRE GUATEMALA Y

HONDURAS de 1937, se sostiene que este método, con equipo apropiado y la práctica necesaria, da igual exactitud que el método de cuadrantes, al cual nos referiremos a continuación. Debe considerarse que los trabajos de dicha Comisión Técnica fueron de alta precisión.

El segundo método consiste en usar el sistema de cuadrantes llamado también método de tangencia, el cual está ampliamente explicado en los textos de topografía y manuales de efemérides solares.

El tercer método consiste en colocar un borde del sol tangente al hilo vertical de la retícula. En este caso se corrige por semidiámetro del sol.

2.2.1 Método de la altitud o ángulo vertical

El método de la altitud o ángulo vertical es menos preciso que el método del ángulo horario de Greenwich, y deberá ser considerado cuando no se utilice un tiempo altamente preciso y no se disponga de las tablas necesarias; el Acimut de una línea puede ser determinado dentro de una tolerancia de $\pm 2'$, a través de una observación solar por el método de la altitud o ángulo vertical.

El promedio de varias observaciones dará como resultado una mayor precisión. Ahora bien, actualmente en Guatemala este método es el único asequible para practicar observaciones

astronómicas por razones de la disponibilidad de efemérides, como se marcó anteriormente.

La ecuación para determinar el ángulo acimutal del sol, usando el método de altitud o ángulo vertical, es como se indicó en anteriormente:

$$\cos Z = \frac{\text{sen}(d) - \text{sen}(h)\text{sen}(\phi)}{\cos(h)\cos(\phi)}$$

Donde:

Z es el ángulo acimutal medido a partir del Norte: en el sentido de las agujas del reloj para una observación en la mañana y en sentido contrario a las agujas del reloj para una observación en la tarde.

h = ángulo vertical observado - refracción + paralaje;

d = declinación solar en el momento de la observación, y

Ø = latitud de la estación desde la cual se hace la observación, la cual es obtenida de una hoja topográfica 1:50,000 del IGN. Puede corroborarse usando un navegador GPS.

El valor de la declinación, *d*, se obtiene, a partir de las tablas de efemérides solares mencionadas, según la fórmula siguiente:

$$d = d' + (T.C.L. + 6horas) \frac{d'' - d'}{24horas}$$

Siendo:

d' = declinación solar para las 0 horas del Tiempo Universal o Tiempo Civil de Greenwich, del día en el que se practica la observación. Se obtiene a partir de las tablas de efemérides anuales.

T.C.L.=Tiempo Civil Local, en horas, en la estación donde se hace la observación.

d'' = declinación solar para las 0 horas del Tiempo Universal o Tiempo Civil de Greenwich del día siguiente del que se hace la observación.

El método de la altitud requiere ángulos verticales muy precisos, los cuales deben ser corregidos por paralaje y refracción. Esta precisión es particularmente crítica cuando el sol está próximo al mediodía local.

En este período, hay un cambio rápido en acimut con poco o ningún cambio en altitud. Por lo tanto, para que la altitud del sol no sea demasiado grande las observaciones deben de hacerse entre las 7 y 9 horas por la mañana o entre las 15 y 17 horas por

la tarde, y la altitud del sol no debe de ser menor de 10° por razones de refracción.

A diferencia del método del ángulo horario de Greenwich, el cual requiere un tiempo altamente preciso para los cálculos, para el método de la altitud puede usarse la hora anunciada en la radio o la televisión o bien la hora oficial de TELGUA, a través del número telefónico 2333-1526.

Debido a problemas relacionados con la obtención de punterías horizontales y verticales en el mismo instante, y la importancia de la precisión del ángulo vertical, un juego de datos deberá consistir en varias vistas adelante sobre el sol por cada vista atrás. Una secuencia recomendada de observación es: directa sobre la marca, tres directas sobre el sol, invertida sobre la marca.

Los tres ángulos directos y los tres invertidos (horizontales y verticales), son promediados con un solo acimut calculado para cada juego. Para minimizar el error debido a curvatura, el lapso de tiempo transcurrido entre la primera puntería directa y la última invertida, sobre el sol deberá ser lo más breve posible.

2.2.1.1 Ejemplo práctico

Datos:

Fecha: 6 de agosto de 2008

Hora (T.C.L.): 16h02m45s

Ángulo horizontal a la derecha de la marca al sol: 124°31'30"

Angulo cenital: 55°48'30"

Altitud o ángulo vertical: 34°11'30"

d': 16°39'12"

d'': 16°22'30"

Presión barométrica o altura msnm: 1500 m

Temperatura a la sombra: 24.5 °C

Latitud: 14°37'58"

Esta última tomada de la hoja topográfica 1:50,000 del IGN y corroborada con navegador GPS)

Con los datos de campo se procede al cálculo de "Z". Para una mejor comprensión se mostrará el proceso del cálculo. La fórmula para la determinación de "Z", es, como

ya se indicó:

$$\cos Z = \frac{\text{sen}(d) - \text{sen}(h) * \text{sen}(\phi)}{\cos(h) * \cos(\phi)}$$

La declinación corregida, d, para la longitud y Tiempo Civil Local de la estación donde fue hecha la observación será entonces:

$$d = d' + (T.C.L. + 6horas) \frac{d'' - d'}{24horas}$$

$$d = 16^{\circ}39'12'' + (16h02m45s + 6h) * \left(\frac{16^{\circ}22'30'' - 16^{\circ}39'12''}{24} \right)$$

$$d = 16^{\circ}39'12'' + (-0^{\circ}15'20.41'') = 16.39766389^{\circ}$$

$$d = 16^{\circ}23'51.59''$$

El ángulo vertical, h, será:

h = ángulo vertical observado – refracción (R) + paralaje(P).

$$h = 34^{\circ}11'30'' - (R) + (P)$$

Para la corrección de la refracción y el paralaje se usan las tablas correspondientes, las cuales vienen en las efemérides solares. Estas tablas traen valores que es necesario interpolar en el cálculo de cada una de las observaciones practicadas. Este cálculo, aunque sencillo, es un tanto engorroso, por lo que en esta tesis se adjuntan tablas interpoladas desarrolladas por el Ing. Amílcar Rubenmio

Villatoro Ríos en su trabajo de graduación, para la corrección de la refracción y el paralaje, las cuales no varían año con año.

Refracción (R)

$$R = Fr * Fp * Ft$$

Fr= factor refracción (ver tabla 3, anexo 2)

Fp= factor presión (ver tabla 4, anexo 3)

Ft= factor temperatura (ver tabla 6, anexo 3)

$$R = (1.41')(0.85)(0.95) = 0.01897625 = 0^{\circ}1'8.31''$$

Paralaje (P) = (ver tabla 7, anexo 3)

$$P = 00'7.2''$$

$$h = 34^{\circ}11'30'' - 0^{\circ}1'8.31'' + 00'7.2''$$

$$h = 34^{\circ}10'29.49''$$

Teniendo todos los datos necesarios: d, h y ϕ se procede a la determinación de "Z", a través de la fórmula de cos Z:

$$\cos Z = \frac{\text{sen}(d) - \text{sen}(h) * \text{sen}(\phi)}{\cos(h) * \cos(\phi)}$$

$$\cos Z = \frac{\text{sen}(16^\circ 23' 51.59'') - \text{sen}(34^\circ 10' 29.49'') * \text{sen}(14^\circ 37' 58'')}{\cos(34^\circ 10' 29.49'') * \cos(14^\circ 37' 58'')}$$

$$\cos Z = \frac{0.282302342 - 0.561720396 * 0.252622924}{0.800491666}$$

$$\cos Z = \frac{0.140398893}{0.800491666} = 0.175390824$$

$$Z = \cos^{-1}(0.175390824)$$

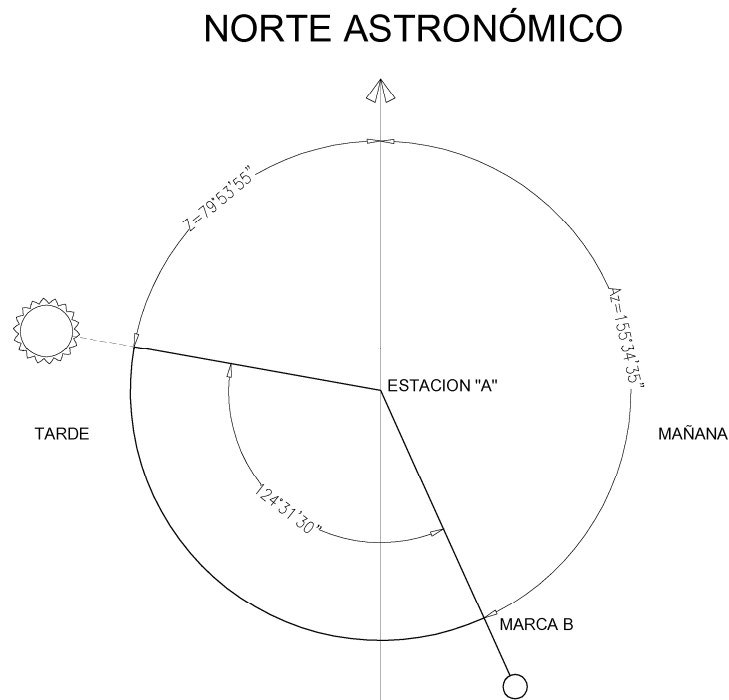
$$Z = 79.89859754$$

$$Z = 79^\circ 53' 54.95''$$

$$Az = 360 - 79^\circ 53' 55'' - 124^\circ 31' 30''$$

$$Az = 155^\circ 34' 35''$$

Figura 12. Croquis norte astronómico



Este ejemplo puede ser calculado a través de un formato estándar como el que se muestra a continuación, usando las tablas de valores interpolados de refracción y paralaje mencionados anteriormente.

ESTACIÓN: A								
MARCA: B								
FECHA DE LA OBSERVACIÓN: Miércoles 6 de agosto de 2008								
LOCALIDAD: Guatemala								
ESTADO DEL TIEMPO: Despejado								
INSTRUMENTO: Wild T-16								
CONFIABILIDAD DE LA OBSERVACIÓN: Buena								
LATITUD Ø: 14° 37' 58"								
LONGITUD λ: 90° 30' 39"								
ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL MAR O PRESION BAROMÉTRICA: 1500 msnm								
TEMPERATURA: 24.5°C								
ATRASO O ADELANTO DE RELOJ (±):								
OBSERVADOR: Saturnino Ordóñez								
ANOTADOR: Ing. Antonio Pellecer								
ÁNGULOS MEDIDOS					°	'	"	
ÁNGULO HORIZONTAL PROMEDIO:					124	31.00	30.00	
ÁNGULO CENITAL PROMEDIO:					55	48.00	30.00	
ÁNGULO VERTICAL PROMEDIO:					34	11.00	30.00	
TIEMPO				HORA				
				HORA	MIN	SEG		
TIEMPO ESTÁNDAR PARA MERIDIANO 90°:				16	02	45		
CORRECCIÓN PARA MERIDIANO DE GREENWICH:				06	00	00		
HORA DE GREENWICH:				22	02	45		
DECLINACIÓN					°	'	"	
DECLINACIÓN SOLAR PARA 0 HORAS DE GREENWICH:					16	39	12	
CORRECCIÓN POR DIFERENCIA HORARIA (±):			HORA DE G:		DIF. HORARIA			
			22.0458333	X	-0.696'		-00 15 20.41	
DECLINACION SOLAR CORREGIDA (d):					16	23	51.59	
ÁNGULO VERTICAL					°	'	"	
ÁNGULO VERTICAL PROMEDIO:					34	11	30	
CORRECCIÓN POR REFRACCIÓN (-):			Refracción		A.S.N.M. PRES. BARO		TEMPE- RATURA	
			-1.41'	X	0.85	X	0.95	-00 01 8.31
CORRECCION POR PARALAJE (+):					00	00	7.80	
ÁNGULO VERTICAL VERDADERO (h):					34	10	29.49	

2.2.2 Método del ángulo horario de Greenwich

En el pasado, el método de la altitud o ángulo vertical ha sido más usado debido principalmente a la dificultad de obtener tiempo exacto en el campo. Los requerimientos de tiempo preciso del método del ángulo horario para el sol son mayores que para la Polar. Con el reciente desarrollo de los receptores de la señal del tiempo y los relojes precisos especialmente los relojes digitales con características de cronómetros y los módulos de tiempo para calculadoras, este obstáculo ha sido eliminado. Por otra parte, este método no necesita medir la temperatura ni la presión barométrica, como en el método de la altitud o ángulo vertical.

El método del ángulo horario es más preciso, más rápido, requiere menos entrenamiento para alcanzar eficiencia, tiene más versatilidad, y es aplicable a la Polar y otras estrellas. Por lo tanto, la única limitante que tenemos actualmente en nuestro medio, es la dificultad de obtener efemérides para el método del ángulo horario, tanto para el sol como para la estrella Polar y otras estrellas.

Consecuentemente, el método del ángulo horario de Greenwich ha sido enfatizado actualmente, estimulándose su uso.

Para aplicar el método del ángulo horario, el ángulo horizontal a partir de una línea hacia el sol es medio. Conociendo el tiempo preciso de la observación y la posición del observador (latitud y longitud) se calcula el acimut del sol. Este acimut y el

ángulo horizontal son combinados para obtener el acimut de la línea.

La ecuación para determinar el ángulo acimutal del sol, usando el método del ángulo horario de Greenwich, es como se indicó en 2.2.1:

$$\tan Z = \frac{-\operatorname{sen}LHA}{\cos(\phi)\operatorname{tg}(d) - \operatorname{sen}(\phi)\cos LHA}$$

Donde :

LHA es el ángulo horario local del sol

LHA = GHA-Wλ(longitud oeste)

LHA = GHA+Eλ(longitud este)

GHA es el ángulo horario de Greenwich

GHA = GHA 0^h + (GHA 24^h – GHA 0^h + 360)(Tiempo/24)

GHA 0^h es el ángulo horario de Greenwich a las 0^h, para la fecha de la observación en el meridiano de Greenwich

GHA 24^h es el ángulo horario de Greenwich a las 0^h, para el día siguiente en el meridiano de Greenwich

Z es el acimut del sol medido en el sentido de las agujas del reloj a partir del norte astronómico. Z es normalizado de 0° a 360° agregando algebraicamente una corrección a partir de la siguiente tabla:

Tabla I. Corrección para Z.

Cuando LHA ES	CORRECCIÓN	
	si Z es positivo	si Z es negativo
0° a 180°	180°	360°
180° a 360°	0°	180°

ϕ Es la latitud del observador

d es la declinación en el momento de la observación puede ser determinada usando la siguiente ecuación, que es la misma empleada para el método de la altitud o ángulo vertical:

$$d = d 0^h + (d 24^h - d 0^h)(\text{tiempo}/24)$$

Ahora bien, la fórmula anterior corresponde a una interpolación lineal de una función lineal que contendrá un error, el cual puede ser corregido usando la siguiente fórmula modificada:

$$d = d 0^h + (d 24^h - d 0^h)(\text{tiempo}/24) + (0.0000395)(d 0^h)\text{sen}(7.5 * \text{tiempo})$$

Donde la declinación es expresada en grados y decimales de grados.

El tiempo utilizado para el método del ángulo horario de Greenwich es sumamente preciso con corrección de dobles pulsaciones como se describió en TIEMPO.

A diferencia del método de la altitud o ángulo vertical, el método del ángulo horario de Greenwich no depende de la determinación de la temperatura y de la altura sobre el nivel del mar o presión barométrica.

Esta ecuación es exclusivamente para la declinación solar y no deber ser usada para la declinación de la estrella Polar o de cualesquiera otras estrellas.

2.3 Estrella Polar

Para la mayoría de las aplicaciones de agrimensura, la determinación del acimut astronómico a través de observaciones solares, será probablemente suficiente. Sin embargo, para requerimientos de precisión de dirección de alrededor de 10 segundos de arco o menos, se requerirá una observación estelar.

Para las latitudes medias del hemisferio norte incluyendo Guatemala, la Polar es la estrella preferida de observar para el acimut. Se mueve muy lentamente para el observador y es fácil de localizar.

Diferentes métodos de observación y diferentes procedimientos de cálculo pueden ser aplicados para determinar el acimut astronómico, a partir de la Polar. Estos métodos incluyen: la Polar en elongación, aplicación de una ecuación simplificada para el acimut de la Polar, altitudes iguales de la polar, y el método del ángulo horario. Éste es el más general y conveniente. El mismo método es examinado y aplicado, no solamente para la Polar sino también para otras estrellas seleccionadas y para el sol.

Los procedimientos del método del ángulo horario son aplicables a cualquier cuerpo celeste para el cual estén tabulados el ángulo horario de Greenwich y la declinación.

Para aplicar el método del ángulo horario, se mide el ángulo horizontal, a partir de una línea, hasta la Polar. Conociendo el tiempo preciso de la observación y la posición del observador (latitud y

longitud), se calcula el acimut de la Polar. Este acimut y el ángulo horizontal son combinados para obtener el acimut de la línea.

En resumen, el método más preciso y práctico para determinar el acimut astronómico es a través de la observación de la Polar usando el método del ángulo horario. El problema de cálculos manuales, bastante complejos y tediosos, puede ser obviado usando una calculadora manual avanzada. El requerimiento de tiempo muy preciso es fácilmente satisfecho con los actuales radios, relojes y módulos de tiempo.

Con la disponibilidad de estas herramientas, el método del ángulo horario es bien superior a otros métodos.

2.3.1 Acimut de la polar

La ecuación para el acimut de la Polar usando el método horario de Greenwich es:

$$\tan Z = \frac{-\operatorname{sen}LHA}{\cos(\phi)\operatorname{tg}(d) - \operatorname{sen}(\phi)\cos LHA}$$

Donde:

LHA es el ángulo horario local de la Polar.

d es la declinación de la Polar

Z es el acimut de la Polar, medido en el sentido de las agujas del reloj a partir del norte astronómico.

Si Z es positivo, la Polar está al Este del Norte

Si Z es negativo, la Polar está al Oeste del Norte

Sumar 360° para normalizar el acimut de 0° a 360°
(0° < Z < 360°)

$$\mathbf{LHA = GHA - W\lambda(\text{longitud oeste})}$$

$$\mathbf{LHA = GHA + E\lambda(\text{longitud este})}$$

GHA es el ángulo horario de Greenwich

$$\mathbf{GHA = GHA\ 0^h + (GHA\ 24^h - GHA\ 0^h + 360)(\text{Tiempo}/24)}$$

GHA 0^h es el ángulo horario de Greenwich a las 0^h para la fecha de la observación en el meridiano de Greenwich

GHA 24^h es el ángulo horario de Greenwich a las 0^h para el día siguiente en el meridiano de Greenwich

La única excepción para la ecuación anterior del GHA es para observaciones hechas a en un día a finales de octubre, cuando el valor de GHA de la Polar pasa de casi 360° en el día de observación a casi 0° del día siguiente. Para ese único día del año, el GHA de la polar en el momento de la observación es obtenido usando la siguiente ecuación:

$$\mathbf{GHA = GHA\ 0^h + (GHA\ 24^h - GHA\ 0^h + 720)(\text{Tiempo}/24)}$$

Por no disponerse de efemérides no se muestra un ejemplo ilustrativo

CONTROL VERTICAL TOPOGRÁFICO

Además del control horizontal topográfico que determina la latitud y la longitud, es necesario proporcionar un control vertical topográfico, determinando la altura de uno o varios puntos sobre un plano horizontal de referencia, en el cual la medición de las diferencias de nivel o de elevación, representa las distancias verticales medidas a partir de dicho plano horizontal de referencia, lo que da como resultado un esquema vertical.

La mayoría de los métodos de control vertical topográfico se encuentra relacionada más directamente con una superficie que se obtiene a través del nivel medio de los mares en calma por debajo de los continentes.

Para determinar la altura de un punto sobre el nivel medio del mar en la superficie terrestre, se recurre a la nivelación a través de diferentes métodos usados para determinar la diferencia de nivel entre dos o mas puntos. El método a seguir depende de la precisión deseada y esta de la finalidad propuesta.

Hay tres tipos comunes de técnicas de nivelación, los cuales son la nivelación diferencial, trigonométrica y la barométrica.

La nivelación diferencial la cual puede ser corrida y compuesta, es la mas precisa de las tres técnicas.

La nivelación trigonométrica es un tanto mas económica que la diferencial, pero menos precisa que esta. Sin embargo a menudo es el único método práctico para establecer un control preciso de elevación en las áreas montañosas.

En la nivelación barométrica las diferencias de altura se determinan midiendo la presión atmosférica en diferentes elevaciones. Aunque el agrado de precisión que se obtiene con este método no es realmente adecuado para el trabajo de agrimensura, puede usarse para determinar las alturas relativas entre puntos muy separados con bastante rapidez y también se utiliza para inspecciones y levantamientos exploratorios cuando se tiene planeado hacer mediciones mas precisas posteriormente o no se requieren.

En este trabajo de graduación por ser de carácter topográfico nos referiremos a la nivelación diferencial y barométrica.

3. ALTIMETRÍA

La altimetría tiene por objeto determinar las diferencias de alturas entre puntos del terreno.

Las alturas de los puntos se toman sobre planos de comparación diversos, siendo el más común de ellos el del nivel del mar. A las alturas de los puntos sobre esos planos de comparación se les llama cotas, elevaciones, alturas, y a veces niveles.

El nivel de aguas máximas extraordinarias se conoce como NAME y la cota sobre el nivel medio del mar como SNMM

Para tener puntos de referencia y de control para obtener las cotas del terreno, se escogen o se construyen puntos fijos, notables e invariables, en lugares convenientes. Un punto de esta naturaleza se llama BANCO DE NIVEL o BENCH MARK (BM). Su cota se determina geodésicamente por el IGN.

El banco de nivel se construye al ras del terreno y consiste en una placa metálica colocada en una base de concreto. Estos bancos de nivel son importantes en trabajos de nivelación directa donde la aproximación se lleva hasta milímetros, y a veces más, en trabajos de alta precisión.

El IGN dispone de un listado de los bench mark diseminados en toda la República de Guatemala, en los cuales encontramos un aproximado de 3000 BM de primer orden y 1,500 BM de tercer orden.

La descripción de la ubicación y altura sobre el nivel del mar de un bench marck, puede solicitarse en el IGN (ver anexo No.11 y 12), a un precio módico, detallando la ubicación, a través de un mapa o coordenadas obtenidas con un navegador GPS, del área de trabajo topográfico a efectuar, para buscar el bench marck más próximo a ésta.

3.1 Nivelación

Con este nombre denominamos a todo los métodos usados para determinar la diferencia de nivel entre dos o más puntos. El instrumento usado depende de la precisión deseada y ésta de la finalidad propuesta. En esta forma podemos usar desde la regla y el nivel de albañil hasta los instrumentos de precisión como son los niveles de trípode. Según se a su orden tenemos los siguientes tipos de nivelación:

- 1.- Nivelaciones de corto alcance. Este método no es utilizado en topografía y se usa sobre todo en la construcción en general.
 - a) Con regla y nivel de albañil
 - b) Con nivel colgante y nivel balanza
 - c) Con manguera

- 2.- Nivelaciones auxiliares

Usando el nivel de mano, no muy preciso pero de gran importancia.

3.- Nivelaciones de precisión con aparato

Usando el nivel (aparato montado sobre trípode)

- a) Nivelaciones corridas o simples
- b) Nivelaciones compuestas

4- Nivelaciones barométricas.

Para los propósitos de esta tesis únicamente consideraremos las nivelaciones usando, según la importancia, nivel de mano o nivel montado sobre trípode, cuyas características no se describen por estar ampliamente detalladas en los textos de topografía y manuales de las empresas que los fabrican.

En cuanto al tipo de precisión con aparato usaremos el método de nivelación corrida o nivelación simple, que es la que se practica para determinar la diferencia de nivel entre dos puntos, como es el caso de determinar la altura de nuestra área de trabajo, tomando como referencia la altura de bench mark mas próximo a ésta. En caso que por razones de distancia o acceso, y de la importancia del levantamiento, no fuera factible usar este método, recurriremos a una nivelación barométrica en su lugar.

Para fines de comprobación, puede repetirse el levantamiento o cerrar el circuito volviendo al bench mark.

Cuando se desee determinar perfiles, como en el caso de trazo de carreteras, se usara el método de nivelación compuesta.

3.2 Nivelación corrida o nivelación simple

Llamaremos “nivelación corrida” a la que se hace para determinar la diferencia de nivel entre dos puntos o sea aquella que en la práctica se lleva a cabo a punto de vuelta y vista atrás.

La finalidad de este tipo de nivelación puede ser:

- a) Para conocer la altura de un punto determinado con respecto a otro como en el caso de determinar si un nacimiento de agua se encuentre a mayor altura de una población.
- b) Para cerrar una nivelación entre dos puntos con el fin de saber el grado de exactitud del trabajo y determinar si está o no dentro de los límites de tolerancia. A esto se le llama una nivelación cerrada y la cota de salida debe ser igual a la cota de llegada o la diferencia entre ambas cotas debe estar dentro de los límites de tolerancia prescritos.

En los trabajos de nivelación usaremos las siguientes abreviaturas:

Elev. = Elevación: altura de un punto sobre el nivel del mar.

Cota = altura de un punto sobre el nivel del mar.

V.A. = Vista atrás: Lectura de mira sobre el punto inicial de la nivelación o sobre un punto de vuelta después de haber trasladado el aparato a otra estación.

Esta lectura tiene signo positivo. En términos ingleses se denomina “Back Sight” y abrevia con B.S.

P.V. = Punto de Vuelta: es el punto sobre el cual se hace la última lectura de mira desde una estación y sobre el que se gira la mira para poder hacer la primera lectura o V.A. de la nueva estación. Es un punto muy importante y debe seleccionarse convenientemente para evitar errores.

En inglés se denomina “Fore Sight”(F.S). Es de signo negativo.

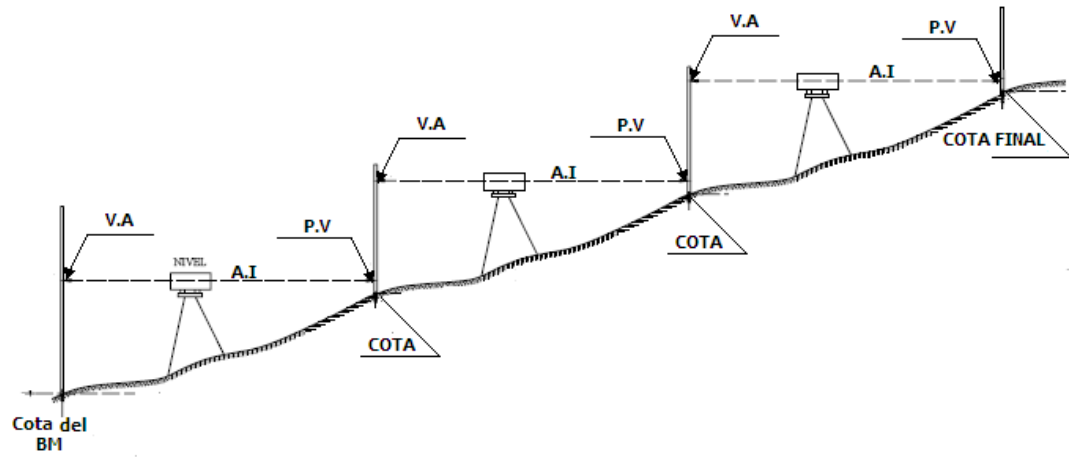
A.I = Altura de instrumento: es la elevación o cota que corresponde en una estación al plano visual del instrumento cuando este está perfectamente nivelado (En inglés se denomina “High of Instrument” y se abrevia H.I).

B.N. = Banco de Nivelación: o (“B.M. Bench Marck”) es un monumento o punto permanente de referencia de nivelación que sirve para replanteos posteriores como punto de partida o punto de chequeo.

V.I. = Vista Intermedia: (F.S. Fore Sight) son las lecturas que se efectúan desde una estación para obtener la cota de puntos intermedio entre un punto de vista atrás y un punto de vuelta.

A continuación, se muestra un croquis de nivelación corrida.

Figura 13. Croquis nivelación



3.2.1 Ejemplo práctico

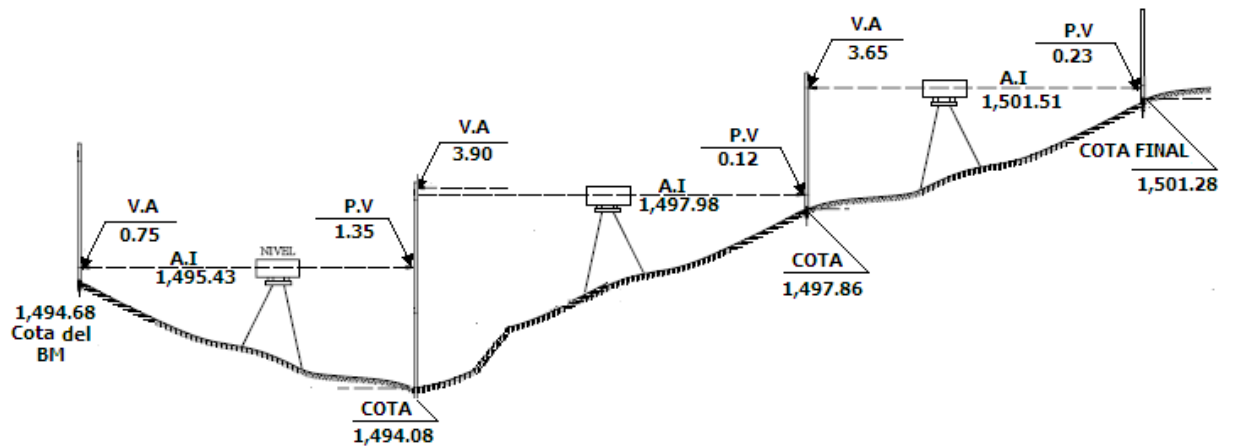
Datos:

Ubicación del BM: Puente anillo periférico y Aguilar Batres, zona 12. Incrustada en base de tragante, Cd. Guatemala.(apéndice B)

Elevación: 1,494.68 MSNMM

Croquis del lugar

Figura 14. Croquis nivelación corrida



LIBRETA DE NIVELACIÓN CORRIDA

EST.	P.O.	V.A.	A.I.	P.V.	COTA
1	B.N. 1	0.75	1,495.43	1.35	1,494.68
	P.V. 1				1,494.08
2	P.V. 1	3.9	1,497.98	0.12	1,497.86
	P.V. 2				
3	P.V. 2	3.65	1,501.51	0.23	1,501.28
	BN 2				
	SUMAS	8.3		1.7	

<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;">VA =</td> <td style="width: 30%; text-align: right;">8.30</td> </tr> <tr> <td>PV =</td> <td style="text-align: right;">1.70</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="border-top: 1px solid black; text-align: right;">6.60</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="border-top: 3px double black; text-align: right;">6.60</td> </tr> </table>	VA =	8.30	PV =	1.70	6.60		6.60		<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">COTA</td> </tr> <tr> <td style="width: 20%;">FINAL =</td> <td style="width: 30%; text-align: right;">1,501.28</td> </tr> <tr> <td>BN =</td> <td style="text-align: right;">1,494.68</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="border-top: 1px solid black; text-align: right;">6.60</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="border-top: 3px double black; text-align: right;">6.60</td> </tr> </table>	COTA		FINAL =	1,501.28	BN =	1,494.68	6.60		6.60	
VA =	8.30																		
PV =	1.70																		
6.60																			
6.60																			
COTA																			
FINAL =	1,501.28																		
BN =	1,494.68																		
6.60																			
6.60																			

Siendo la diferencia entre la suma de los V.A. y la suma de los P.V. iguales a la diferencia de nivel entre el punto de partida BM 1,494.68 y el la cota final 1,501.28, las operaciones aritméticas están correctas.

Esto no quiere decir que la nivelación esté correcta, el chequeo de los trabajos de campo se pueden hacer solamente cerrando la nivelación o sea regresando por otro camino al punto de partida. La cota calculada al llegar al punto inicial lógicamente debe ser igual a la cota de partida. Si existiese una diferencia, ésta debe estar dentro de los límites de tolerancia.

3.3 Nivelación barométrica

Como se mencionó anteriormente, cuando no sea factible revisar una nivelación nivel de trípode, se recurrirá a una nivelación barométrica, en la cual se usará un altímetro o aneroide , que al igual que la brújula, es un valioso instrumento auxiliar en los estudios preliminares. Su poco peso y fácil manejo lo hacen ideal para estos fines, si bien su exactitud no siempre es lo suficiente para los datos finales, la rapidez con que se trabaja y el hecho de no necesitar de visibilidad entre los puntos cuyas elevaciones se desean comparar, compensa su inexactitud en las preliminares.

Se trata de un aparato parecido a un reloj de bolsillo que puede tener dos graduaciones, una en milímetros o milibares de presión y la otra en metros de altura sobre el nivel medio del mar. El aparato tiene la carátula móvil para poder colocar la altura del bench marck de referencia. Esta altura se determina colocando el altímetro sobre el bench marck al nivel del terreno.

La diferencia probable de un buen aneroide es de unos 3m. en las medidas efectuadas con los instrumentos y de 20m. a 30m. si se usa un solo aparato en simples recorridos sin efectuar correcciones por temperatura y humedad. Una condición indispensable para la medición barométrica es que se efectúe en un día normal sin perturbaciones atmosféricas o variantes climatológicas.

A continuación nos dirigimos hacia la cota final tratando de hacer el caminamiento en el menor tiempo posible para evitar grandes cambios de temperatura o variaciones regulares barométricas que influyan

grandemente en nuestra medida. Si se desea aumentar la precisión puede usarse un gráfico para corrección en altitud por temperatura y humedad relativa.

3.4 Especificaciones para nivelaciones cerradas

Las especificaciones de cierre de nivelación, según la importancia del levantamiento, pueden ser primer, segundo, tercero y cuarto orden.

3.4.1 Nivelación de primer orden

Se usa la nivelación de este orden en el sistema básico de Red Nacional y del control de área metropolitana. Extensos proyectos de ingeniería, investigaciones regionales de movimientos cristales, determinación de valores geopotencial, su error de cierre del circuito no debe de exceder de $4 \text{ mm} \sqrt{k}$.

3.4.2 Nivelación de segundo orden

La nivelación de esta clase deberá emplearse al desarrollar la red secundaria de la red vertical nacional y en la densificación del control preciso en área metropolitanas, extensos proyectos de ingeniería, investigaciones de subsidencia, mapeo topográfico, apoyo en levantamientos locas, el error de cierre del circuito no debe exceder entre $6 \text{ mm} \sqrt{k}$ y $8 \text{ mm} \sqrt{k}$, lo requerido.

3.4.3 Nivelación de tercer orden

Se puede usar la nivelación de tercer orden para subdividir circuitos de nivelación de primer y segundo orden, en donde se requiere control adicional para el desarrollo local, como proyectos de ingeniería pequeños, mapeo topográfico a escala pequeña, estudios de drenaje y establecimiento de declives en áreas montañosas, su error de cierre del circuito no debe exceder de $12\text{mm}\sqrt{k}$.

3.4.4 Nivelación de cuarto orden

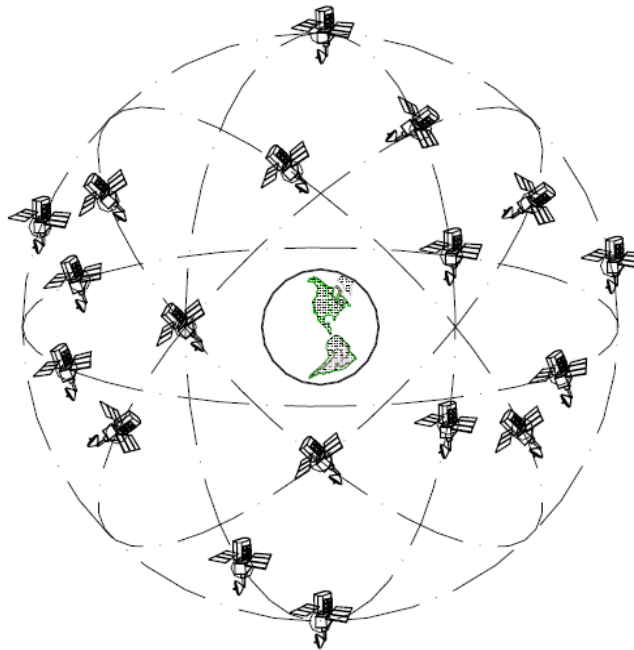
Error de cierre mayor que el límite permitido para el tercer orden. Esta nivelación puede efectuarse con niveles y procedimientos rápidos, con barómetros, y trigonométricamente.

Nota: k representa la longitud en kilómetros del circuito de nivelación.

4. SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (G.P.S)

El sistema de posicionamiento global, G.P.S, es un sistema mundial de navegación desarrollado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos. Actualmente este sistema consta de 24 satélites artificiales (21 regulares más 3 de respaldo) y sus respectivas estaciones en tierra, proporcionando información para el posicionamiento las 24 horas del día sin importar las condiciones del tiempo.

Figura 15. Representación gráfica del sistema de satélites artificiales NAVSTAR



Los satélites artificiales son utilizados por el G.P.S, como punto de referencia para el cálculo de posiciones de puntos sobre la superficie de la tierra con precisiones cada día mejores.

Desde sus inicios puramente militares en el año 1978, sus aplicaciones han ido incrementándose constantemente en diversas áreas y los equipos receptores de G.P.S han ido disminuyendo tanto en tamaño como en costo.

En el campo de la ingeniería civil, el G.P.S se ha convertido en una herramienta indispensable para profesionales y técnicos en la determinación de posiciones y realización de levantamientos topográficos con rapidez y precisión.

Actualmente la tecnología existente permite manejar los datos obtenidos por medio de G.P.S. con los programas de aplicación en las ramas de ingeniería y geodesia.

4.1 Fundamentos

El sistema de posicionamiento global por satélite o G.P.S., se basa en la medición de distancias a partir de señales de radio transmitidas por un grupo de satélites artificiales cuya órbita se conoce con precisión y captadas y decodificadas por receptores ubicados en los puntos cuya posición se desea determinar.

Si medimos las distancias de al menos tres diferentes satélites a un punto sobre la tierra, es posible determinar la posición de dicho punto por trilateración. Recordaremos que la trilateración es un procedimiento similar a la triangulación pero basado en la medidas de los lados de un triángulo.

En el presente capítulo se explicarán en forma resumida los siguientes fundamentos involucrados en las mediciones con G.P.S.

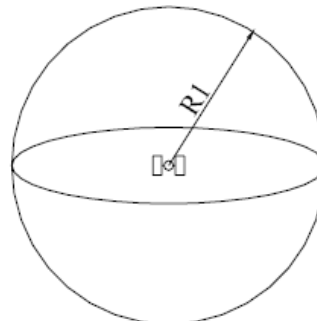
- Trilateración Satelital
- Medición de distancia desde los satélites
- Medición precisa del tiempo
- Conocimiento preciso de la órbita del satélite
- Corrección de errores en la propagación de la onda

4.1.1 Trilateración Satelital

Los satélites del sistema de posicionamiento global se encuentran girando alrededor de la Tierra en órbitas predefinidas a una altura aproximada de 20.200 kilómetros, siendo posible conocer con exactitud la ubicación de un satélite en un instante de tiempo dado, convirtiéndose por lo tanto los satélites en puntos de referencia en el espacio (figura 15).

Supongamos que un receptor en la Tierra capta la señal de un primer satélite determinando la distancia entre ambos. Esto solamente nos indica que el receptor puede estar ubicado en un punto cualquiera dentro de la superficie de una esfera de radio $R1$ tal y como se muestra en la figura 16.

Figura 16. Punto que puede estar ubicado en cualquier lugar de la superficie de la esfera



Si medimos la distancia de un segundo satélite al mismo receptor se generará una superficie esférica de radio R_2 , que al intersecarse con la primera esfera se formará un círculo en cuyo perímetro pudiera estar ubicado el punto a medir (figura 17).

Si agregamos una tercera medición, la intersección de la nueva esfera con las dos anteriores se reduce a dos puntos sobre el perímetro del círculo descrito (figura 18).

Figura 17. Círculo resultante de la intersección de dos esferas

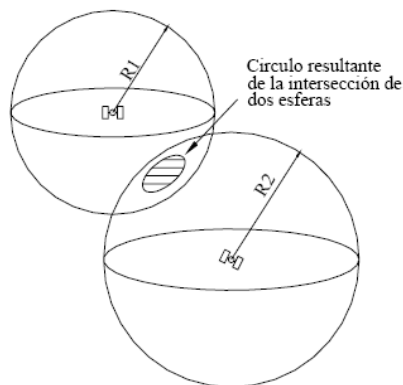
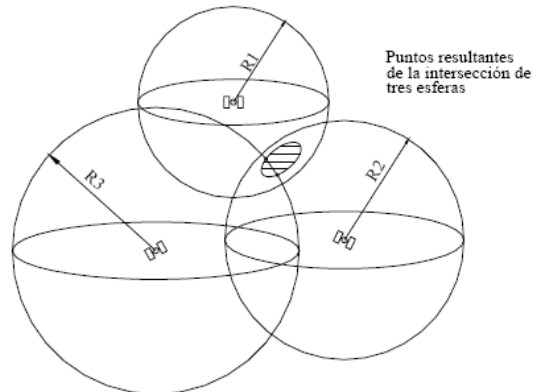


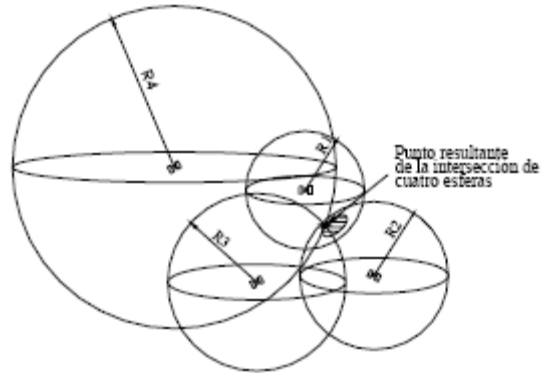
Figura 18. Puntos resultantes de intersección de tres esferas



Uno de estos dos puntos puede ser descartado por ser una respuesta incorrecta, bien sea por estar fuera de espacio o por moverse a una velocidad muy elevada.

Matemáticamente es necesario determinar una cuarta medición a un diferente satélite a fin de poder calcular las cuatro incógnitas x , y , z y tiempo figura 19.

Figura 19. Punto resultante de la intersección de cuatro esferas



4.1.2 Medición de distancia desde los satélites

La distancia de un satélite a un receptor se calcula midiendo el tiempo de viaje de la señal de radio desde el satélite al receptor. Conociendo la velocidad de la señal de radio, la distancia se determina por medio de la ecuación de movimiento con velocidad uniforme.

$$D = v.t$$

Siendo:

D = distancia en kilómetros desde el satélite al punto considerado

v = velocidad de la señal de radio, aproximadamente la velocidad de la luz

$v \approx 300.000 \text{ km/s}$

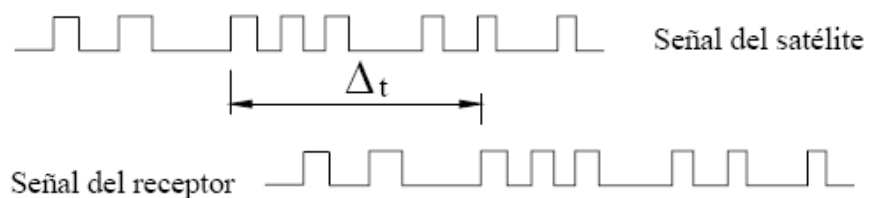
t = tiempo de viaje de la señal en segundos

Para poder medir el tiempo de viaje de la señal, es necesario conocer el instante en que la señal parte del satélite. Esto se logra generando códigos pseudoaleatorios tanto en el satélite como en el receptor y sincronizando ambas señales de manera que sean generadas al mismo tiempo, luego, comparando las dos señales se mide el desfase en tiempo (Δt) en el que la señal del satélite y la del receptor generan el mismo código.

El Δt representa el tiempo de viaje de la señal. Este proceso se esquematiza gráficamente en la figura 20.

- Se mide el desfase del tiempo de repetición del mismo patrón generen el mismo código al mismo tiempo.
- Se sincronizan el satélite y el receptor de manera que

Figura 20. Esquema de medición del tiempo de viaje de la señal



4.1.3 Precisión en la medida del tiempo

La medición del tiempo de viaje es una actividad difícil de realizar. Debido a la gran velocidad de las señales de radio y a las distancias, relativamente cortas, a la cual se encuentran los satélites de la Tierra, los tiempos de viaje son extremadamente cortos.

El tiempo promedio que una señal tarda en viajar de un satélite orbitando a 20.200 kilómetros a la Tierra es de 0,067 segundos. Este hecho hace necesario la utilización de relojes muy precisos. Los satélites portan relojes atómicos con precisiones de un nanosegundo, pero colocar este tipo de relojes en los receptores sería muy costoso.

Para solucionar este problema los receptores corrigen los errores en la medición del tiempo mediante una medición a un cuarto satélite.

4.1.4 Posicionamiento del satélite

Como se ha mencionado previamente, existen 24 satélites operacionales en el sistema NAVSTAR (Navigation Satellite Timing and Ranging) orbitando la Tierra cada 12 horas a una altura de 20.200 kilómetros. Existen seis diferentes órbitas inclinadas aproximadamente 55° con respecto al Ecuador.

4.1.5 Precisión en la medida del tiempo

La medición del tiempo de viaje es una actividad difícil de realizar. Debido a la gran velocidad de las señales de radio y a las distancias, relativamente cortas, a la cual se encuentran los satélites de la Tierra, los tiempos de viaje son extremadamente cortos. El tiempo promedio que una señal tarda en viajar de un satélite orbitando a 20.200 kilómetros a la Tierra es de 0,067 segundos. Este hecho hace necesario la utilización de relojes muy precisos.

Los satélites portan relojes atómicos con precisiones de un nanosegundo, pero colocar este tipo de relojes en los receptores sería muy costoso. Para solucionar este problema los receptores corrigen los errores en la medición del tiempo mediante una medición a un cuarto satélite.

4.1.6 Posicionamiento del satélite

Como se ha mencionado previamente, existen 24 satélites operacionales en el sistema NAVSTAR (Navigation Satellite Timing and Ranging) orbitando la Tierra cada 12 horas a una altura de 20.200 kilómetros. Existen seis diferentes órbitas inclinadas aproximadamente 55° con respecto al Ecuador.

4.1.7 Errores originados por el medio de propagación

Como se mencionó anteriormente, los cálculos en el posicionamiento por satélite asumen que la señal viaja a una

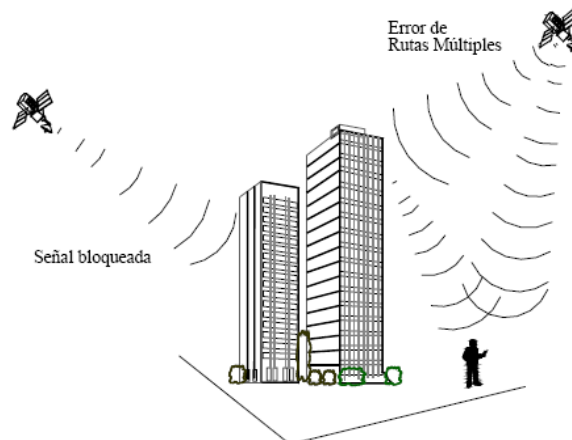
velocidad constante igual a la de la luz. Sin embargo, la velocidad de la luz se mantiene constante solamente en el vacío.

Cuando la señal penetra la ionosfera y la troposfera, debido a los cambios en densidades de las diferentes capas, se producen las refracciones ionosféricas y troposféricas, reduciendo la velocidad de la señal. Actualmente los receptores de G.P.S. toman en cuenta estas demoras haciendo las correcciones pertinentes.

Error por ruta múltiple:

Este se origina debido a la posibilidad de que una señal reflejada por objetos ubicados en la superficie de la Tierra lleguen al receptor por dos o más trayectorias diferentes (ver figura 21).

Figura 21. Error de rutas múltiples o multipath



Errores en la recepción

Por ser los errores en la recepción solamente dependientes del modo de medición y del tipo de receptor,

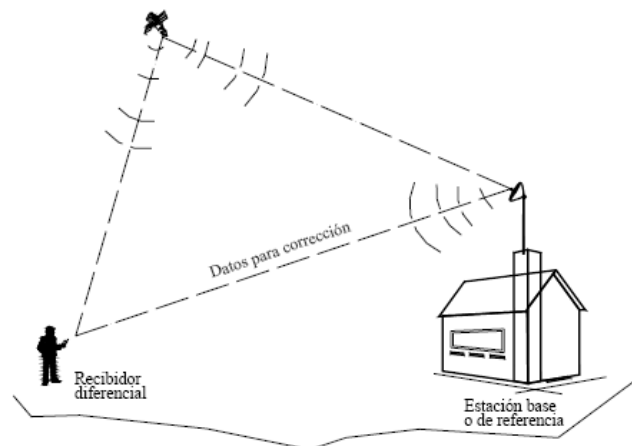
en el presente capítulo solamente haremos mención de ellos.

Los errores en la recepción son el ruido, centro de fase de la antena, errores del reloj oscilador y el error de disponibilidad selectiva (S/A), el cual es una degradación de la señal del satélite causada en forma intencional por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos.

El error de disponibilidad selectiva se corrige mediante la técnica de la corrección diferencial, en la cual se usa un receptor en una estación base cuya posición sea conocida con precisión y un receptor en el punto que se desea ubicar, recolectando datos simultáneamente (ver figura 22).

Con la información obtenida en la estación base se calculan los diferenciales o correcciones que deben aplicarse a las mediciones del receptor en la estación del punto a ubicar.

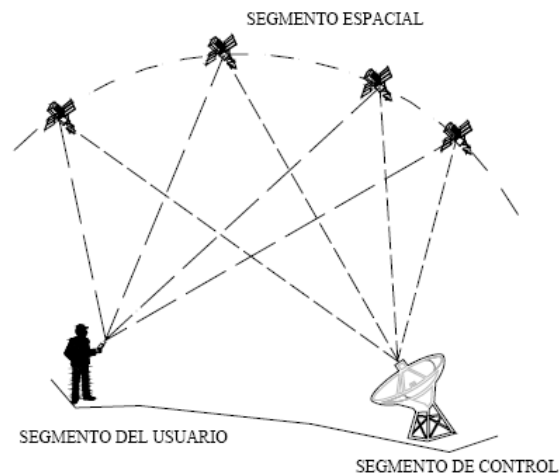
Figura 22. Corrección diferencial



4.2 Componentes del sistema G.P.S.

Un sistema G.P.S. está compuesto por el segmento espacial conocido como la constelación NAVSTAR conformado actualmente por 24 satélites (21 regulares más 3 de respaldo), el segmento de control conformado por estaciones de control master y de alimentación y el segmento usuario constituido por los receptores, recolectores de datos y programas de aplicación o software (figura 23).

Figura 23. Componentes del sistema G.P.S.



4.2.1 El Segmento Usuario.

Diferentes fabricantes producen una gran variedad de equipos y productos para los usuarios de G.P.S. Debido al permanente desarrollo tecnológico, estos equipos son constantemente mejorados en calidad y precisión haciendo cada vez más común su aplicación en diferentes disciplinas.

El receptor, como su nombre lo indica es el instrumento que recibe y decodifica la señal del satélite calculando las coordenadas del punto deseado.

Los receptores varían en precisión, tamaño, peso, capacidad de almacenamiento de datos y número de satélites que utilizan para calcular posición.

En la actualidad los receptores G.P.S. están diseñados con la tecnología de canales múltiples paralelos conteniendo entre 5 y 12 circuitos receptores sintonizados cada uno ellos a la señal de un satélite en particular.

Los componentes básicos de un receptor G.P.S. son:

- 1) Antena con preamplificador para recibir la señal.
- 2) Sección de radio frecuencia o canal.
- 3) Microprocesador para la reducción, almacenamiento y procesamiento de datos.
- 4) Oscilador de precisión para la generación de los códigos pseudoaleatorios utilizados en la medición del tiempo de viaje de la señal.
- 5) Fuente de energía eléctrica.
- 6) Interfases del usuario constituidas por el panel de visualización y control o pantalla,

teclado de comandos y manejo de datos.

- 7) Dispositivo de almacenamiento de datos o memoria de almacenamiento.

4.2.2 El Segmento Espacial

Cada uno de los satélites de la constelación NAVSTAR transmite dos señales de radio, L1 con una frecuencia de 1.575,43 MHz y L2 1.227,6 MHz. La señal L1 se modula con dos códigos de ruido pseudoaleatorios (Pseudo Random Noise, PRN), denominados Servicio de Posicionamiento Preciso (PPS) o código P o protegido, el cual puede ser encriptado para uso militar y el código de adquisición grueso (C/A Coarse/Adquisition) conocido como Servicio Estándar de Posicionamiento (SPS).

La señal L2 se modula solamente con el código P. La mayoría de los receptores de uso civil usan el código C/A para obtener la información del sistema G.P.S.

Además de los códigos, los satélites transmiten a los receptores información en un paquete de información repetitivo de cinco diferentes bloques con duración de 30 segundos.

- Bloque 1: Contiene los parámetros de corrección de tiempo y refracción ionosférica.
- Bloques 2 y 3: Contienen información orbital y precisa para el cálculo de efemérides.

- Bloques 4 y 5: Con información orbital aproximada de todos los satélites del sistema en operación, tiempo universal coordinado, información ionosférica e información especial.

4.3 Precisiones con G.P.S.

La precisión obtenida con equipos G.P.S. puede variar en un rango entre milímetros y metros dependiendo de diversos factores.

Es importante mencionar que la precisión obtenida en la determinación de las coordenadas horizontales (Norte y Este) es de dos a cinco veces mayor que la determinación en la coordenada vertical o cota.

En general la exactitud obtenida en mediciones con G.P.S. dependen de los siguientes factores:

- Equipo receptor
- Planificación y procedimiento de recolección de datos
- Tiempo de la medición
- Programas utilizados en el procesamiento de datos.

Existen dos tipos de exactitudes, la absoluta y la diferencial. En cuanto a la exactitud absoluta, utilizando el Servicio Estándar de

Posicionamiento (SPS) se pueden obtener exactitudes en el orden de 20 m.

Si se usa el Servicio Preciso de Posicionamiento (PPS), o código P se pueden obtener exactitudes entre 5 y 10 m.

En cuanto a la exactitud diferencial, se pueden obtener exactitudes de hasta $\pm 0,1-1$ ppm y en proyectos científicos con equipos adecuados y un riguroso control en todas las etapas del trabajo se pueden lograr exactitudes de $\pm 0,01$ m $\pm 0,1$ ppm.

4.4 Sistemas de coordenadas

La superficie de la Tierra puede ser representada en forma muy precisa por un elipsoide ajustado a la forma del geoide, sin embargo, el tamaño, forma y ubicación relativa de un elipsoide con respecto al geoide varían de acuerdo al lugar, por lo que se han propuesto diferentes elipsoides para diferentes zonas sobre la Tierra.

El modelo matemático que mejor se ajusta a la superficie del geoide en un área determinada queda definido por la relación entre un punto en la superficie topográfica escogida como origen del datum y el elipsoide.

Un datum queda definido por el tamaño y forma del elipsoide y la ubicación del centro del elipsoide con respecto al centro de la Tierra.

4.5 Sistemas de proyecciones

Como sabemos, el datum representa un modelo referencial de la superficie de la Tierra pero no especifica cómo identificar un punto sobre la superficie de la misma.

Por lo general, las coordenadas se representan expresadas como coordenadas geográficas (latitud y longitud) o coordenadas rectangulares (norte y este).

Los receptores G.P.S. toman las coordenadas geográficas y las proyectan al sistema local de coordenadas en base al datum seleccionado.

4.6 Aplicaciones de los G.P.S.

Debido al constante desarrollo del sistema G.P.S., día a día se incrementa la aplicación de los mismos en las actividades científicas, profesionales, deportivas, recreacionales, etc.

Sería muy largo describir las actividades en las cuales el G.P.S. es una herramienta fundamental por lo que nos limitaremos a mencionar algunas de las áreas dentro del campo de la ingeniería en las cuales el G.P.S. está siendo utilizado.

Los geólogos, geógrafos e ingenieros forestales utilizan los G.P.S., en combinación con los sistemas de información geográfica (SIG) para la elaboración de mapas temáticos, captando en forma rápida y precisa la posición de puntos y asociando información y atributos a dichos puntos.

En cuanto a la planificación del transporte urbano, constituye un método rápido de levantamiento de la red de transporte, ya que recorriendo las calles y avenidas del sistema con un receptor G.P.S. se puede elaborar automáticamente el plano de la red.

En el mantenimiento vial, (drenajes, pavimentos, puentes, etc.), se pueden ubicar los puntos o sectores de la vía que necesitan mantenimiento, asociándole como atributo el tipo de estructura y mantenimiento a realizar.

En el campo de la topografía, se están aplicando los G.P.S. en el levantamiento de grandes extensiones y de zonas de difícil acceso ya que se requiere menos personal, debido a lo complicado del traslado de equipos tradicionales y a que la captura de datos con el sistema G.P.S. acelera o acorta el tiempo de recolección de los mismos.

4.7 Orden y clase de exactitud en levantamientos con GPS

En el año 2004 el Instituto Geográfico Nacional (IGN), Ingeniero Alfredo Obiols Gómez, desarrolló el manual de normas técnicas para levantamientos con GPS, en el cual se presentan diversas técnicas que pueden ser utilizadas para el posicionamiento con GPS. Los usuarios eligen uno de estos enfoques en consideración de la exactitud que se busca. Los receptores de doble frecuencia, son utilizados en levantamientos geodésicos, por su alta precisión y exactitud, a diferencia de los receptores de una frecuencia que pueden ser utilizados para satisfacer normas de menor exactitud.

Para la clasificación de los levantamientos geodésicos asociados con valores de exactitudes que es posible obtener entre puntos ligados directamente, se establece el siguiente orden y clase de exactitud relativa, Tabla II:

Tabla II. Orden y clase de exactitud relativa.

ORDEN	CLASE	EXACTITUD RELATIVA	RED GEODESICA NACIONAL	TIPO DE MONUMENTO	TECNOLOGIA	POST PROCESAMIENTO
AA	UNICA	1:100 000 000	PRIMARIA ABSOLUTA	GEODESICO	GPS-L1/L2	CORRECCION DIFERENCIAL
A	UNICA	1:10 000 000	PRIMARIA RELATIVA	GEODESICO	GPS-L1/L2	CORRECCION DIFERENCIAL
B	UNICA	1:1000 000	PRIMARIA RELATIVA DE DENSIFICACION	GEODESICO	GPS-L1/L2	CORRECCION DIFERENCIAL

Estas se aplican para el uso de las técnicas de posicionamiento GPS diferencial.

ORDEN AA

Los levantamientos geodésicos horizontales que se hagan dentro de este orden estarán destinados a estudios sobre deformación global de la corteza terrestre de efectos geodinámicos y en general cualquier trabajo que requiera una exactitud de una parte en 100,000,000 y líneas bases muy largas de hasta 4,000 Kms. Se utilizará el método estático y se observará varios días en forma continua.

ORDEN A

Deberá aplicarse para aquellos trabajos encaminados a establecer el sistema geodésico de referencia nacional básico o densificación de la Red Geodésica Nacional, posicionamiento de puntos fronterizos, levantamientos sobre estudios de deformación local de la corteza terrestre, así como cualquier levantamiento que requiera de una precisión de 1: 10 000 000 se utilizará el Método estático y se observará desde 3 horas hasta 12 horas.

ORDEN B

Se destinará a levantamientos de densificación del sistema geodésico de referencia nacional, conectado necesariamente a la Red Básica; trabajos de ingeniería de alta precisión, así como geodinámica. Los trabajos que se hagan dentro de esta clasificación deberán integrarse a la Red Geodésica Básica y ajustarse a ella, dando como resultado una exactitud no menor a 1:1,000,000. Se utilizará el Método Estático y se observará de 1 a 4 horas.

Tabla III. Orden y clase de exactitud relativa.

ORDEN	CLASE	EXACTITUD RELATIVA	REDES O PUNTOS TOPOGRAFICOS COMPLEMENTARIOS	TIPO DE LEVANTAMIENTO Y DOCUMENTO	TECNOLOGIA	POST- PROCESAMIENTO
C 3°	I	1:10,000	TERCIARIA RELATIVA	TOPOGRAFICO O SEÑALIZADO	GPS L1	CORRECCION DIFERENCIAL
C 1°	UNICA	1:100,000	SECUNDARIA RELATIVA	TOPOGRAFICO	GPS- LI/L2 o L1	CORRECCION DIFERENCIAL
C 2°	I	1:50,000	SECUNDARIA RELATIVA	TOPOGRAFICO	GPS L1	CORRECCION DIFERENCIAL
C 2°	II	1:20,000	TERCIARIA RELATIVA	TOPOGRAFICO O SEÑALIZADO	GPS L1	CORRECCION DIFERENCIAL

ORDEN C 1º

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

El método de posicionamiento es estático y estático rápido.

ORDEN C 2º, CLASE I

Deberán aplicarse en la densificación, en las áreas metropolitanas, en el desarrollo de fraccionamientos y levantamientos detallados en zona de alto desarrollo y valor de suelo, en el levantamiento de trazo de límites administrativos y en general para todo proyecto que requiera de una exactitud no menor que una parte en 50,000. El método de posicionamiento es estático y estático rápido.

ORDEN C 2º CLASE II

Deberá aplicarse al caso de levantamientos geodésicos horizontales en áreas que no tienen un índice de desarrollo y donde no se prevea que éste se produzca a corto plazo, en levantamientos para apoyo cartográfico y de proceso fotogramétrico, en el establecimiento de control geodésicos a lo

largo de las costas, ríos navegables, entre vías de comunicación, en fraccionamientos y parcelamientos, en construcción y en todo trabajo que requiera una exactitud no menor que una parte en 20,000. El método de posicionamiento es estático rápido.

ORDEN C 3º, CLASE I

Valor medio abajo del suelo, a proyectos locales de desarrollo, levantamiento topográficos e hidrográficos, densificación de los levantamientos de segundo orden, a proyectos de ingeniería, y en general, para todo tipo de trabajo que requiera exactitudes de una o dos partes en 10,000 según las necesidades. Los métodos de levantamientos son: Parar y Seguir(Stop and Go) y Pseudocinemático.

Tabla IV. Clasificaciones y especificaciones exclusivamente para levantamientos con GPS diferenciales estáticos.

ORDEN BASE (CMS.)	CLASE	EXACTITUD RELATIVA	P.P.M.	EFEMERIDES BASE/CALCULO	ERROR (EN cms)
AA	UNICA	1:100 000 000	0.01	PRECISAS	0.3
A	UNICA	1: 10 000 000	0.1	PRECISAS	0.5
B	UNICA	1: 1 000 000	1.0	TRANSMITIDAS	0.8
C 1º.	UNICA	1: 100 000	10.0	TRANSMITIDAS	1.0
C 2º.	I	1: 50 000	20.0	TRANSMITIDAS	2.0
C 2º.	II	1: 20 000	50.0	TRANSMITIDAS	3.0
C 3º.	I	1: 10 000	100.0	TRANSMITIDAS	5.0

Tabla V. Lineamientos para levantamientos GPS de acuerdo a su clasificación.

Orden	Clase	Tipo De Equipo	No. Mínimo De sesiones	Número de Mediciones De altura De antena/ sesión	Número Mínimo de Receptores En medición Simultánea
AA	UNICA	D.F	6	3	6
A	UNICA	D.F.	2	2	3
B	UNICA	D.F.	2	2	3
C 1°.	UNICA	OP	1	2	3
C 2°.	I	OP	1	1	OP
C 2°.	II	OP	1	1	OP
C 3°.	I	OP	1	1	OP

D.F : DOBLE FRECUENCIA

OP : OPCIONAL (GPS de dos o una frecuencia)

4.8 Navegadores GPS

Para levantamiento GPS de una categoría geodésica se utilizan instrumentos sumamente precisos, los cuales son de un precio sumamente elevado y son usados por instituciones como el RIC, IGN, DGLAI, para la determinación de actividades como redes geodésicas y bases catastrales. Evidentemente, para el usuario común este tipo de levantamiento no es asequible. Sin embargo, se dispone actualmente de los navegadores GPS los cuales brindan una precisión bastante conveniente para los usos básicos de la topografía, entre ellos obtener coordenadas geográficas en observaciones astronómicas, y en poligonales de levantamientos preliminares.

La precisión de los navegadores GPS varía entre 5 y 10 metros dependiendo del número de satélites con que se trabaje. A continuación nos referiremos al manejo de un navegador GPS corriente.

4.8.1 Manejo de un navegador GPS etrex Garmin o similar

Figura 24. Navegador GPS



A) CÓMO LEVANTAR UN PUNTO (Navegador GPS Garmin o similar)

1. Encender el aparato presionando **PWR (2)** y orientando hacia el Norte aproximado.
2. Espere que encuentre varios satélites hasta que en la pantalla cambie a “Ready to navigate”.
3. Presione **Page (1)** 3 veces para cambiar la pantalla hasta **menú**.
4. En la pantalla Menú está ya posicionado en **Mark**.
5. Presione **Enter (5)** en la parte baja de la pantalla encontrará la posición.

B) CÓMO GRABAR EL PUNTO

1. Observe el número de punto en la bandera, para poder localizarlo más tarde.
2. Presione **Enter (5)**.
3. Para regresar a la pantalla inicial presione **Page (1)** hasta llegar a la pantalla inicial.
4. Para apagar presione **PWR(2)**.

C) CÓMO LEER UN PUNTO PREVIAMENTE GRABADO

1. Encender el aparato, presionar el botón **PWR (2)**
2. Llegar a la pantalla Menú presionando 3 veces **Page (1)**
3. Estando en la pantalla Menú presionar el botón (**∇ down**) (**4**) para bajar a Waypoints
4. Presionar **Enter (5)** 2 veces
5. Con los botones (**∇ down**) (**4**) y (**Δ up**) (**3**), buscar el punto deseado y
6. Presionar **Enter (5)**
7. Para leer otro punto, presionar **Page (1)** 1 vez, buscar el nuevo punto con los botones (**Δ up**) (**3**) y (**∇ down**) (**4**) y presionar **Enter (5)**
8. Para salir presionar **Page (1)**, 3 veces
9. Para apagarlos presiones **PWR (2)**

D) CÓMO LLEGAR A UN PUNTO CONOCIDO

1. Con un punto de la memoria
2. Introduciendo la latitud y longitud del punto a la memoria

CÓMO DIRIGIRSE AL PUNTO

- 1.1.1 Encienda el aparato presionando **PWR (2)**, dirijalo al Norte aproximadamente
- 1.1.2 Espere que cambie a “Ready to Navigate”
- 1.1.3 Presione **Page (1)** 3 veces para llegar a MENU
- 1.1.4 Presione (**▽ down**) (**4**) una vez a WAYPOINTS
- 1.1.5 Presione **ENTER (5)** dos veces
- 1.1.6 Seleccione el punto de llegada con los botones (**Δ up**) (**3**) y (**▽ down**) (**4**)
- 1.1.7 Presione **ENTER (5)** una vez
- 1.1.8 Observe que esté situado en GOTO en el centro de la pantalla
- 1.1.9 Presione **ENTER (5)**
 - 1.9.1 Listo para navegar en la pantalla de la brújula, indica la dirección, distancia y velocidad.
 - 1.9.2 Cuando llegue al punto destino en la pantalla verá “ARRIVING DESTINATION”
- 1.10 Para salir presione **ENTER (5)**
- 1.11 Con el botón (4) bajar a STOP NAVIGATION
- 1.12 Presione **ENTER (5)**

- 1.13 Presione **PAGE (1)** varias veces llegando a la pantalla inicial
- 1.14 Puede apagarlo presionando **PWR (2)**

D) CÓMO INGRESAN LOS DATOS A LA MEMORIA

- 2.1 Encienda el aparato presionando **PWR (2)**
- 2.2 Llegue a la pantalla MENU presionando **PAGE (1)** tres veces
- 2.3 En la pantalla Menú aparece situada en MARK, presione **ENTER(5)** una vez
- 2.4 Presionar (**▽ down**) **(4)** dos veces
- 2.5 Presionar **ENTER (5)** una vez ya esta en la pantalla de edición
- 2.6 Presionando(**▽ down**) **(4)** hasta llegar a la cifra que desea cambiar
- 2.7 Posicionando en la cifra, presione **ENTER (5)**
- 2.8 Con los botones(**△ up**) **(3)** y (**▽ down**) **(4)** seleccione la cifra nueva de 0 a 9
- 2.9 Ya seleccionada presione ENTER (5) una vez, pasará a la siguiente cifra
Repita los pasos 6 a 9 hasta cambiar todas las cifras deseadas
Si no desea cambiar alguna cifra, sólo presione (**▽ down**) **(4)** para saltarla
- 2.10 Cuando termine de cambiar, presione (**▽ down**) **(4)** para situarse en OK en parte de abajo
- 2.11 Presione **ENTER**

Ya tenemos un punto nuevo en la memoria, fíjese el número del punto para llegar a él

2.12 Para salir, presionar **PAGE (1)** dos veces.

E) CAMBIO DE PILAS

1. Gire la mariposa $\frac{1}{4}$ de vuelta contra las manecillas del reloj.
2. Retire la tapa de la batería
3. Observe la polaridad o la posición de las pilas
4. Retire las baterías gastadas
5. Coloque las baterías nuevas guiándose por la indicación en el fondo de cada lugar de las pilas
6. Coloque la tapa en su lugar y gire la mariposa $\frac{1}{4}$ de vuelta hacia la derecha o conforme las manecillas del reloj.

CONCLUSIONES

- 1.- Durante la investigación del presente trabajo se encontró que en la actualidad existen faltantes en los temas referidos al control horizontal topográfico, como es el caso de las efemérides astronómicas.
- 2.- En Guatemala no se dispone de cartas isogónicas actualizadas, habiendo sido la última publicada por el INSIVUMEH para los años 1978-1979, pero se dispone del sitio web www.gabrielortiz.com, para el cálculo de la declinación magnética, mediante la latitud, longitud y fecha de la observación.
- 3.- Para el desarrollo de una observación solar óptima se sugiere realizarla en verano ya que en época lluviosa se reduce el número de días soleados, por lo que se hace difícil la toma de datos.
- 4.- Para las observaciones astronómicas únicamente se dispone de efemérides solares para el método de la altitud o ángulo vertical publicadas anualmente por el INSIVUMEH, y no así de efemérides para el método del ángulo horario de Greenwich, para el sol, la estrella polar, y eventualmente observaciones de otras estrellas.
- 5.- Para el método de la altitud o ángulo vertical para observaciones solares es suficiente conocer un tiempo aproximado, el cual puede ser obtenido de la radio, de la televisión o bien de la hora oficial de TELGUA, pero requiere un ángulo vertical sumamente preciso. En cambio para el método del ángulo horario de Greenwich ya sea para el sol o para la estrella polar se necesita un tiempo altamente preciso el cual se obtiene escuchando la estación WWV y no se requiere conocer el ángulo vertical.

- 6.- La precisión del método horario de Greenwich para las observaciones solares es mucho mayor que la del método de la altitud o ángulo vertical.
- 7.- En el caso de no ser factible el enlace de un área de trabajo con un bench mark (banco de nivel), puede usarse un altímetro.
- 8.- El uso de los navegadores GPS para fines topográficos sirve de referencia o bien orientación, ya que brindan una precisión conveniente para los usos básicos de la topografía, complementariamente con los mapas del IGN,

RECOMENDACIONES

- 1.- Dar apoyo por parte de las autoridades correspondientes al INSIVUMEH para la publicación de cartas isogónicas actualizadas.
- 2.- Al no existir cartas isogónicas para las observaciones magnéticas, se sugiere el uso del sitio web. www.gabrielortiz.com, para el cálculo de la declinación magnética.
- 3.- Dar apoyo por parte de las autoridades correspondientes al INSIVUMEH para la publicación de efemérides solares para el método del ángulo horario de Greenwich, para la estrella polar y otras estrellas.
- 4.- Podría establecerse un convenio entre TELGUA y la WWV para poder retransmitir, con el consentimiento de ésta, a través del teléfono el tiempo emitido por la WWV, obviándose de esta manera la dificultad del uso de un radio de onda de determinadas especificaciones.
- 5.- Apoyar el pensum de estudio de la carrera de ingeniería civil de la Universidad de San Carlos, en la práctica de observaciones solares, específicamente el método de la altitud o ángulo vertical, el método del ángulo horario de Greenwich para el sol y la estrella Polar, y observaciones de otras estrellas, mediante la adquisición de instructores y equipo para tal efecto, dado el creciente número de estudiantes.
- 6.- Debe estimularse el uso del método del ángulo horario de Greenwich para las observaciones solares y de la estrella Polar, por su alta precisión

- 7.- Considerar en el curso de topografía, la enseñanza del uso de navegadores GPS, por las bondades y ventajas que presentan los mismos a la hora de una orientación, ubicación o referencia inicial.

BIBLIOGRAFÍA

1. SOKKIA 1997 CELESTIAL OBSERVATION HANDBOOK AND EPHEMERIS. Dr. Richard L. Elgin, Dr. David R. Knowles y Dr. Joseph H. Senne. Estados Unidos de América.
2. KEUFFEL AND ESSER 1967 SOLAR EPHEMERIS AND SURVEYING INSTRUMENTAL MANUAL. Estados Unidos De América.
3. BERGER SOLAR EPHEMERIS AND POLARIS TABLES 1970. Estados Unidos de América.
4. EFEMERIDES SOLAR 2008. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH).
5. COSMOLOGIA. Gonzalo Felgueres Pani. Cuarta edición Imprenta Universitaria. México, 1965.
6. CURSO DE COSMOGRAFIA. Joaquín Gallo y Agustín Anfossi. Tercera edición. Editorial Progreso México, 1962.
7. TRATADO DE TOPOGRAFÍA. Raymond E. Davis y Francis S. Foote. Primera edición. Aguilar, S.A de Ediciones, 1964. España 1964.
8. TOPOGRAFÍA PARA INGENIEROS. Profesor Phillip Kissam. Libros Mc Graw-Hill de México, 1979.

9. TOPOGRAFÍA. Miguel Montes de Oca. Cuarta edición Representaciones y Servicios de Ingeniería S.A Litográfica Ingramex, S.A. México, 1980.
10. MANUAL DE CONSTRUCCIÓN PARA VIVIENDA RURAL. Juan José Mosquera Estrada. Tesis. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala 1967.
11. CONSIDERACIONES SOBRE ASTRONOMIA PRÁCTICA Y ORIENTACIÓN ASTRÓNOMICA. Edgar Celada Samayoa. Tesis. Facultad de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala, 1986.
12. PRONTUARIO DEL AUXILIAR DE INGENIERO PARA OBSERVACIONES SOLARES. Amilcar Rubenmio Villatoro Rios. Tesis. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala 1986.
13. OBSERVACIONES A TRAVES DEL MÉTODO DEL ÁNGULO HORARIO EN COMPARACIÓN CON EL MÉTODO DE LA ALTITUD. Juan Ramón Ordóñez Hernández. Tesis. Escuela de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala 1995.
14. TOPOGRAFÍA PLANA. Leonardo Casanova Matera. Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería. Mérida Venezuela 2002.

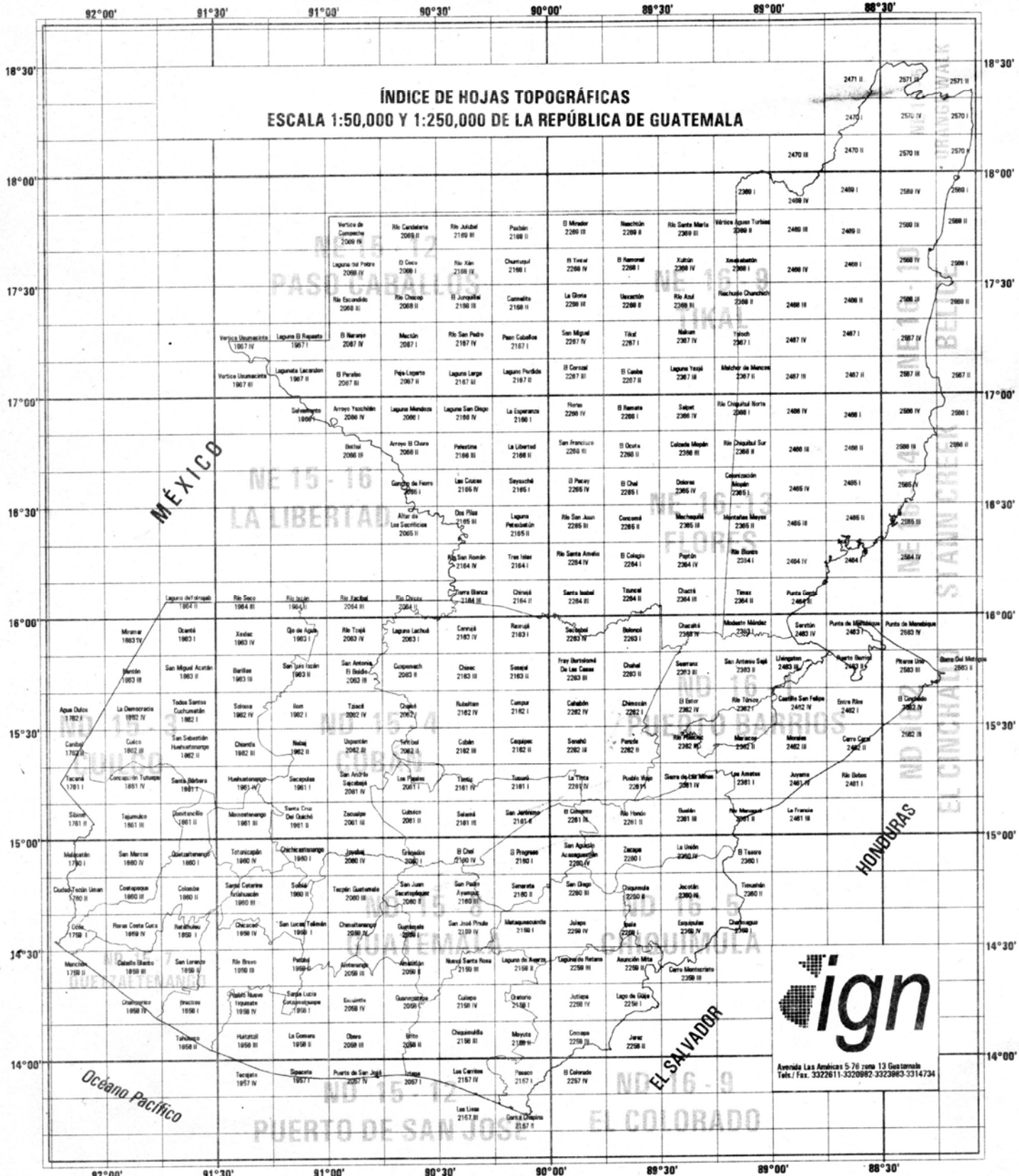
APÉNDICE A

Mapa topográfico índice del IGN hojas topográficas 1:50,000

INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL

"INGENIERO ALFREDO OBIOLS GÓMEZ"

ÍNDICE DE HOJAS TOPOGRÁFICAS ESCALA 1:50,000 Y 1:250,000 DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA



APÉNDICE B

Solicitud Banco de Nivel o Bench Mark y ficha de descripción



INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL
INGENIERO ALFREDO OBIOLS GOMEZ



Guatemala, 16 de septiembre de 2008

Señor
Saturnino Ordóñez
Presente

Señor Ordóñez:

Tengo el agrado de dirigirme a usted, en respuesta a su solicitud de proporcionarle el Banco de Marca más cercano a la Plazuela de Los Mártires de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Ciudad.

Al respecto me permito informarle que el BM que se encuentra más cercano al lugar indicado por usted es el denominado **BM Puente Anillo Periférico** con una elevación de **1,494.6813 MSNMM**. Se adjunta fotocopia de la ficha de descripción de la mencionada cota.

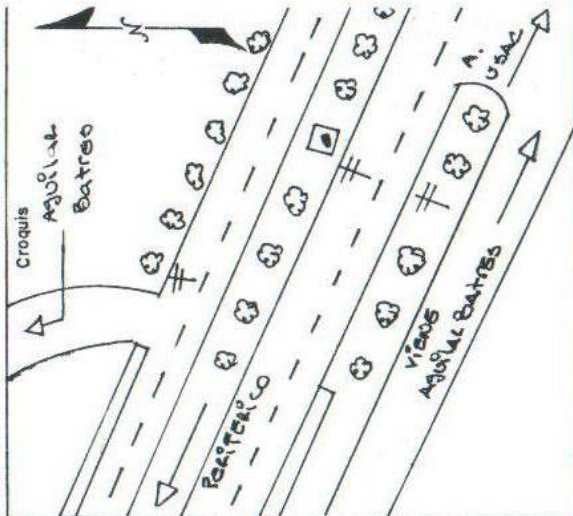
Sin otro particular, me suscribo atentamente,


Edgar Joaquín de León Alvarado
Técnico en Geodesia



Ing. Oscar Cruz Ramos
Coordinador División de Geodesia

Nación Guatemala	Característica de la Marca Ficha de 0.06 centímetros de diámetro	Designación Pte ANILLO PERIFERICO
Provincia Departamento de Guatemala	Establecida por (Organización) Ins. Geográfico Militar	Elevación (M)
Municipio Guatemala	Organización (Fundido en la Marca) Ins. Geográfico Militar	Orden PRIMER (Final) (Preliminar)
Línea CIUDAD	Estampada Pte. ANI PERIF IGM 1,994	Dátum SNMM
Descripción Detallada del punto LUGAR: Puente Anillo Periferico y Aguilar Batres, zona 12. Incustada en BASE DE TRAGANTE.		
REFERENCIAS: Centro de carril a USAC. Centro de carril a Anillo Periferico. Final caril auxiliar. Poste de luz. Poste de luz. Poste de luz.		
AZIMUT: 215° 37° 155° 228° 232° 320°		
DISTANCIA (metros): 5.00 4.00 17.00 10.00 8.00 43.00		
(Descripción (Recuperada) por Concepción A. Orantes		Fecha 1,994



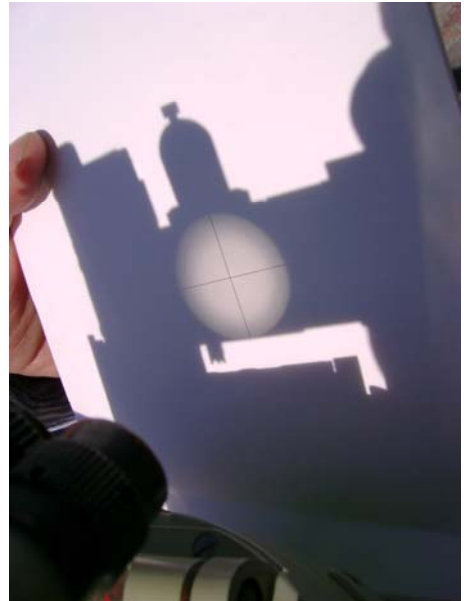
MONOGRAFÍA DE LA COTA FIJA

APÉNDICE C

Equipo utilizado en observación solar y magnética



Observación solar



Centro del Sol



Observación magnética



Equipo Wild T-16 con brújula

ANEXO 1

Tablas declinación solar año 2008

Declinación Solar Año 2008 de ENERO A JUNIO (INSIVUMEH)																							
Valor para 0:00 Horas de de Greenwich; Para Guatemala restar 6 horas																							
ENERO				FEBRERO				MARZO				ABRIL				MAYO				JUNIO			
DIA		G	M	DIA		G	M	DIA		G	M	DIA		G	M	DIA		G	M	DIA		G	M
1	S	23	4.1	1	S	17	20	1	S	7	32	1	N	4	36	1	N	15	7.6	1	N	22	4.6
2	S	22	59	2	S	17	3.2	2	S	7	8.6	2	N	4	59	2	N	15	26	2	N	22	13
3	S	22	54	3	S	16	46	3	S	6	46	3	N	5	22	3	N	15	43	3	N	22	20
4	S	22	48	4	S	16	28	4	S	6	23	4	N	5	45	4	N	16	0.8	4	N	22	27
5	S	22	42	5	S	16	11	5	S	5	59	5	N	6	8.1	5	N	16	18	5	N	22	34
6	S	22	36	6	S	15	52	6	S	5	36	6	N	6	31	6	N	16	35	6	N	22	40
7	S	22	29	7	S	15	34	7	S	5	13	7	N	6	53	7	N	16	52	7	N	22	46
8	S	22	21	8	S	15	15	8	S	4	49	8	N	7	16	8	N	17	8	8	N	22	52
9	S	22	13	9	S	14	56	9	S	4	26	9	N	7	38	9	N	17	24	9	N	22	57
10	S	22	4.8	10	S	14	37	10	S	4	2.5	10	N	8	0.5	10	N	17	40	10	N	23	1.5
11	S	21	56	11	S	14	18	11	S	3	39	11	N	8	23	11	N	17	55	11	N	23	5.8
12	S	21	47	12	S	13	58	12	S	3	15	12	N	8	45	12	N	18	11	12	N	23	9.7
13	S	21	37	13	S	13	38	13	S	2	52	13	N	9	6.4	13	N	18	26	13	N	23	13
14	S	21	27	14	S	13	18	14	S	2	28	14	N	9	28	14	N	18	40	14	N	23	16
15	S	21	17	15	S	12	58	15	S	2	4.3	15	N	9	50	15	N	18	54	15	N	23	19
16	S	21	5.6	16	S	12	37	16	S	1	41	16	N	10	11	16	N	19	8.3	16	N	23	21
17	S	20	54	17	S	12	16	17	S	1	17	17	N	10	32	17	N	19	22	17	N	23	23
18	S	20	43	18	S	11	56	18	S	0	53	18	N	10	53	18	N	19	35	18	N	23	25
19	S	20	31	19	S	11	34	19	S	0	29	19	N	11	14	19	N	19	48	19	N	23	26
20	S	20	18	20	S	11	13	20	S	0	5.7	20	N	11	35	20	N	20	0.8	20	N	23	26
21	S	20	5.1	21	S	10	52	21	N	0	18	21	N	11	55	21	N	20	13	21	N	23	26
22	S	19	52	22	S	10	30	22	N	0	42	22	N	12	15	22	N	20	25	22	N	23	26
23	S	19	38	23	S	10	8.2	23	N	1	5.3	23	N	12	35	23	N	20	37	23	N	23	26
24	S	19	24	24	S	9	46	24	N	1	29	24	N	12	55	24	N	20	48	24	N	23	25
25	S	19	10	25	S	9	24	25	N	1	53	25	N	13	15	25	N	20	59	25	N	23	23
26	S	18	55	26	S	9	1.8	26	N	2	16	26	N	13	34	26	N	21	9.3	26	N	23	21
27	S	18	40	27	S	8	39	27	N	2	40	27	N	13	53	27	N	21	19	27	N	23	19
28	S	18	25	28	S	8	17	28	N	3	3	28	N	14	12	28	N	21	29	28	N	23	16
29	S	18	9.2	29	S	7	54	29	N	3	26	29	N	14	31	29	N	21	39	29	N	23	13
30	S	17	53					30	N	3	50	30	N	14	49	30	N	21	48	30	N	23	9.7
31	S	17	37					31	N	4	13					31	N	21	56				

Nota: declinación 'S' es sur y es considerado de valor negativo por estar bajo el Ecuador. G = grados,
M = minutos. 'N' es declinación norte y positiva. Para días intermedios interpolar.

Declinación Solar Año 2008 de JULIO A DICIEMBRE (INSIVUMEH)

Valor para 0:00 Horas de de Greenwich; Para Guatemala restar 6 horas

JULIO				AGOSTO				SEPTIEMBRE				OCTÜBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE			
DIA		G	M	DIA		G	M	DIA		G	M	DIA		G	M	DIA		G	M	DIA		G	M
1	N	23	5.8	1	N	17	59	1	N	8	13	1	S	3	15	1	S	14	29	1	S	21	50
2	N	23	1.5	2	N	17	43	2	N	7	51	2	S	3	38	2	S	14	48	2	S	21	59
3	N	22	57	3	N	17	28	3	N	7	29	3	S	4	1.3	3	S	15	6.6	3	S	22	7.2
4	N	22	52	4	N	17	12	4	N	7	7.3	4	S	4	25	4	S	15	25	4	S	22	15
5	N	22	46	5	N	16	56	5	N	6	45	5	S	4	48	5	S	15	44	5	S	22	23
6	N	22	40	6	N	16	39	6	N	6	23	6	S	5	11	6	S	16	1.5	6	S	22	31
7	N	22	34	7	N	16	23	7	N	6	0.4	7	S	5	34	7	S	16	19	7	S	22	37
8	N	22	27	8	N	16	5.5	8	N	5	38	8	S	5	57	8	S	16	37	8	S	22	44
9	N	22	20	9	N	15	48	9	N	5	15	9	S	6	19	9	S	16	54	9	S	22	50
10	N	22	13	10	N	15	31	10	N	4	53	10	S	6	42	10	S	17	11	10	S	22	56
11	N	22	5	11	N	15	13	11	N	4	30	11	S	7	4.8	11	S	17	28	11	S	23	0.6
12	N	21	57	12	N	14	55	12	N	4	6.9	12	S	7	27	12	S	17	44	12	S	23	5.2
13	N	21	48	13	N	14	37	13	N	3	44	13	S	7	50	13	S	18	0.1	13	S	23	9.4
14	N	21	39	14	N	14	19	14	N	3	21	14	S	8	12	14	S	18	16	14	S	23	13
15	N	21	30	15	N	14	0	15	N	2	58	15	S	8	34	15	S	18	31	15	S	23	17
16	N	21	20	16	N	13	41	16	N	2	35	16	S	8	56	16	S	18	46	16	S	23	19
17	N	21	10	17	N	13	22	17	N	2	12	17	S	9	18	17	S	19	1.1	17	S	23	22
18	N	20	60	18	N	13	2.8	18	N	1	49	18	S	9	40	18	S	19	16	18	S	23	24
19	N	20	49	19	N	12	43	19	N	1	25	19	S	10	2	19	S	19	30	19	S	23	25
20	N	20	38	20	N	12	24	20	N	1	2	20	S	10	24	20	S	19	43	20	S	23	26
21	N	20	26	21	N	12	3.7	21	N	0	39	21	S	10	45	21	S	19	57	21	S	23	26
22	N	20	15	22	N	11	44	22	N	0	15	22	S	11	6.2	22	S	20	9.7	22	S	23	26
23	N	20	2.4	23	N	11	23	23	S	0	8	23	S	11	27	23	S	20	22	23	S	23	26
24	N	19	50	24	N	11	2.8	24	S	0	31	24	S	11	48	24	S	20	35	24	S	23	25
25	N	19	37	25	N	10	42	25	S	0	55	25	S	12	9	25	S	20	47	25	S	23	24
26	N	19	24	26	N	10	21	26	S	1	18	26	S	12	30	26	S	20	58	26	S	23	22
27	N	19	11	27	N	10	0.4	27	S	1	42	27	S	12	50	27	S	21	9.1	27	S	23	19
28	N	18	57	28	N	9	39	28	S	2	4.9	28	S	13	10	28	S	21	20	28	S	21	20
29	N	18	43	29	N	9	18	29	S	2	28	29	S	13	30	29	S	21	30	29	S	21	30
30	N	18	28	30	N	8	57	30	S	2	52	30	S	13	50	30	S	21	40	30	S	21	40
31	N	18	14	31	N	8	35					31	S	14	9.4					31	S	23	5.2

Nota: declinación 'S' es sur y es considerado de valor negativo por estar bajo el Ecuador. G = grados,

M = minutos. 'N' es declinación norte y positiva. Para días intermedios interpolar.

ANEXO 2

Tablas de corrección de refracción y paralaje, usadas en las observaciones solares y tablas interpoladas de corrección de refracción y paralaje.

TABLA 1
Refracción y Paralaje del Sol
Aplicase a las alturas observadas
Bar. = 29.6 pulgadas. Temp. 50° F

Altura Medida		Refracción -	Paralaje Sol +	Altura Medida		Refracción -	Paralaje Sol +
°	'			°	'		
7	30	6.88	0.15	17	30	3.02	0.14
7	40	6.75	0.15	18	00	2.93	0.14
7	50	6.62	0.15	18	30	2.85	0.14
8	00	6.50	0.15	19	00	2.77	0.14
8	10	6.37	0.15	19	30	2.70	0.14
8	20	6.25	0.15	20	00	2.62	0.14
8	30	6.13	0.15	21	00	2.48	0.14
8	40	6.02	0.15	22	00	2.36	0.14
8	50	5.92	0.15	23	00	2.25	0.14
9	00	5.82	0.15	24	00	2.15	0.14
9	10	5.72	0.15	25	00	2.05	0.14
9	20	5.63	0.15	26	00	1.96	0.13
9	30	5.53	0.15	27	00	1.88	0.13
9	40	5.43	0.15	28	00	1.80	0.13
9	50	5.34	0.15	29	00	1.73	0.13
10	00	5.26	0.15	30	00	1.66	0.13
10	20	5.10	0.15	32	00	1.53	0.13
10	40	4.95	0.14	34	00	1.42	0.12
11	00	4.81	0.14	36	00	1.32	0.12
11	20	4.67	0.14	38	00	1.23	0.12
11	40	4.54	0.14	40	00	1.15	0.11
12	00	4.42	0.14	42	00	1.07	0.11
12	30	4.25	0.14	44	00	1.00	0.11
13	00	4.09	0.14	46	00	0.93	0.10
13	30	3.93	0.14	48	00	0.86	0.10
14	00	3.78	0.14	50	00	0.80	0.09
14	30	3.65	0.14	55	00	0.67	0.08
15	00	3.53	0.14	60	00	0.55	0.07
15	30	3.42	0.14	65	00	0.45	0.06
16	00	3.32	0.14	70	00	0.35	0.05
16	30	3.22	0.14	80	00	0.17	0.03
17	00	3.12	0.14	90	00	0.00	0.00

Si al hacer la observación la presión barométrica y la temperatura difiere de 29.6° y 50° F respectivamente corríjanse los valores de esta tabla multiplicándolos por los factores de la 3.

Si se desconoce la presión barométrica estímesese ésta según la elevación del lugar usando los valores de la tabla 5.

TABLA 2
Correcciones a la Tabla 1
Factores para presiones barométricas
Observadas o Elevaciones

Bar. Pulgadas	Elev. Pies	Factor	Bar. Pulgadas	Elev. Pies	Factor
30.5	-451	1.03	23.9	6194	0.81
30.2	-181	1.02	23.6	6538	0.80
30.0	0	1.01	23.3	6887	0.79
			23.0	7239	0.78
29.9	91	1.01			
29.6	366	1.00	22.7	7597	0.77
29.3	643	0.99	22.4	7960	0.76
29.0	924	0.98	22.1	8327	0.75
28.7	1207	0.97	21.8	8700	0.74
28.4	1493	0.96	21.5	9077	0.73
28.1	1783	0.95	21.2	9460	0.72
27.8	2075	0.94	20.9	9848	0.71
27.5	2371	0.93	20.6	10242	0.70
27.2	2670	0.92	20.3	10642	0.69
			20.0	11047	0.68
26.9	2972	0.91			
26.6	3277	0.90	19.7	11458	0.67
26.3	3586	0.89	19.4	11875	0.66
26.0	3899	0.88	19.1	12299	0.65
25.7	4215	0.87	18.8	12729	0.64
25.4	4535	0.86	18.5	13165	0.63
25.1	4859	0.85	18.2	13608	0.62
24.8	5186	0.84	17.9	14058	0.61
24.5	5518	0.83			
24.2	5854	0.82			

FACTORES PARA TEMPERATURA

Temp. °F	Factor	Temp °F	Factor	Temp °F	Factor
-20	1.16	30	1.04	80	0.94
-10	1.13	40	1.02	90	0.93
0	1.11	50	1.00	100	0.91
10	1.08	60	0.98	110	0.90
20	1.06	70	0.96	120	0.88

Ejem 1. Sol: altura obs.=30°; presión bar.=26 pulgadas o elev. 3900 pies; temperatura 70° F.

Refracción = $1.66'(0.88)(0.96) = 1.40'$; paralaje = $0.13'$ altura verdadera $h=30^{\circ}00' - 1.40' + 0.13' = 29^{\circ} 58.73'$

Ejem 2. Estrella: altura obs. = 25°; presión bar.=24.5 pulg. o elev. 5518 pies; temperatura 80°F refracción = $2.05'(0.83)(0.94) = 1.61'$

Altura verdadera $h = 25^{\circ}00' - 1.61' = 24^{\circ}58.39'$

Tabla 3
Tablas de Refracción solar comprendidas entre 20° y 50°
de ángulos verticales observados, para ser aplicados a:

Presión Barométrica: 29.6" de mercurio (Hg)

Temperatura: 50°F

ANGULOS VERTICALES OBSERVADOS						REFRACCION									
DE			A			MINUTOS	MINUTOS Y SEGUNDOS								
20 °	00	'	00.00	"	20 °	02	'	08.57	"	02.62	'	02	'	37.2	"
20 °	02	'	08.57	"	20 °	06	'	25.71	"	02.61	'	02	'	36.6	"
20 °	06	'	25.71	"	20 °	10	'	42.86	"	02.60	'	02	'	36.0	"
20 °	10	'	42.86	"	20 °	15	'	00.00	"	02.59	'	02	'	35.4	"
20 °	15	'	00.00	"	20 °	19	'	17.14	"	02.58	'	02	'	34.8	"
20 °	19	'	17.14	"	20 °	23	'	34.29	"	02.57	'	02	'	34.2	"
20 °	23	'	34.29	"	20 °	27	'	51.43	"	02.56	'	02	'	33.6	"
20 °	27	'	51.43	"	20 °	32	'	08.57	"	02.55	'	02	'	33.0	"
20 °	32	'	08.57	"	20 °	36	'	25.71	"	02.54	'	02	'	32.4	"
20 °	36	'	25.71	"	20 °	40	'	42.86	"	02.53	'	02	'	31.8	"
20 °	40	'	42.86	"	20 °	45	'	00.00	"	02.52	'	02	'	31.2	"
20 °	45	'	00.00	"	20 °	49	'	17.14	"	02.51	'	02	'	30.6	"
20 °	49	'	17.14	"	20 °	53	'	34.29	"	02.50	'	02	'	30.0	"
20 °	53	'	34.29	"	20 °	57	'	51.43	"	02.49	'	02	'	29.4	"
20 °	57	'	51.43	"	21 °	00	'	00.00	"	02.48	'	02	'	28.8	"
21 °	00	'	00.00	"	21 °	02	'	30.00	"	02.48	'	02	'	28.8	"
21 °	02	'	30.00	"	21 °	07	'	30.00	"	02.47	'	02	'	28.2	"
21 °	07	'	30.00	"	21 °	12	'	30.00	"	02.46	'	02	'	27.6	"
21 °	12	'	30.00	"	21 °	17	'	30.00	"	02.45	'	02	'	27.0	"
21 °	17	'	30.00	"	21 °	22	'	30.00	"	02.44	'	02	'	26.4	"
21 °	22	'	30.00	"	21 °	27	'	30.00	"	02.43	'	02	'	25.8	"
21 °	27	'	30.00	"	21 °	32	'	30.00	"	02.42	'	02	'	25.2	"
21 °	32	'	30.00	"	21 °	37	'	30.00	"	02.41	'	02	'	24.6	"
21 °	37	'	30.00	"	21 °	42	'	30.00	"	02.40	'	02	'	24.0	"
21 °	42	'	30.00	"	21 °	47	'	30.00	"	02.39	'	02	'	23.4	"
21 °	47	'	30.00	"	21 °	52	'	30.00	"	02.38	'	02	'	22.8	"
21 °	52	'	30.00	"	21 °	57	'	30.00	"	02.37	'	02	'	22.2	"
21 °	57	'	30.00	"	21 °	00	'	00.00	"	02.36	'	02	'	21.6	"
22 °	00	'	00.00	"	22 °	02	'	43.64	"	02.36	'	02	'	21.6	"
22 °	02	'	43.64	"	22 °	08	'	10.91	"	02.35	'	02	'	21.0	"
22 °	08	'	10.91	"	22 °	13	'	38.18	"	02.34	'	02	'	20.4	"
22 °	13	'	38.18	"	22 °	19	'	05.45	"	02.33	'	02	'	19.8	"
22 °	19	'	05.45	"	22 °	24	'	32.73	"	02.32	'	02	'	19.2	"
22 °	24	'	32.73	"	22 °	30	'	00.00	"	02.31	'	02	'	18.6	"
22 °	30	'	00.00	"	22 °	35	'	27.27	"	02.30	'	02	'	18.0	"

ANGULOS VERTICALES OBSERVADOS						REFRACCION		
DE		A				MINUTOS	MINUTOS Y SEGUNDOS	
22 °	35 ' 27.27 "	22 °	40 ' 54.55 "	02.29	02	17.4 "		
22 °	40 ' 54.55 "	22 °	46 ' 21.82 "	02.28	02	16.8 "		
22 °	46 ' 21.82 "	22 °	51 ' 49.09 "	02.27	02	16.2 "		
22 °	51 ' 49.09 "	22 °	57 ' 16.36 "	02.26	02	15.6 "		
22 °	57 ' 16.36 "	23 °	00 ' 00.00 "	02.25	02	15.0 "		
23 °	00 ' 00.00 "	23 °	03 ' 00.00 "	02.25	02	15.0 "		
23 °	03 ' 00.00 "	23 °	09 ' 00.00 "	02.24	02	14.0 "		
23 °	09 ' 00.00 "	23 °	15 ' 00.00 "	02.23	02	13.8 "		
23 °	15 ' 00.00 "	23 °	21 ' 00.00 "	02.22	02	13.2 "		
23 °	21 ' 00.00 "	23 °	27 ' 00.00 "	02.21	02	12.6 "		
23 °	27 ' 00.00 "	23 °	33 ' 00.00 "	02.20	02	12.0 "		
23 °	33 ' 00.00 "	23 °	39 ' 00.00 "	02.19	02	11.4 "		
23 °	39 ' 00.00 "	23 °	45 ' 00.00 "	02.18	02	10.8 "		
23 °	45 ' 00.00 "	23 °	51 ' 00.00 "	02.17	02	10.2 "		
23 °	51 ' 00.00 "	23 °	57 ' 00.00 "	02.16	02	09.6 "		
23 °	57 ' 00.00 "	24 °	00 ' 00.00 "	02.15	02	09.0 "		
24 °	00 ' 00.00 "	24 °	03 ' 00.00 "	02.15	02	09.0 "		
24 °	03 ' 00.00 "	24 °	09 ' 00.00 "	02.14	02	08.4 "		
24 °	09 ' 00.00 "	24 °	15 ' 00.00 "	02.13	02	07.8 "		
24 °	15 ' 00.00 "	24 °	21 ' 00.00 "	02.12	02	07.2 "		
24 °	21 ' 00.00 "	24 °	27 ' 00.00 "	02.11	02	06.6 "		
24 °	27 ' 00.00 "	24 °	33 ' 00.00 "	02.10	02	06.0 "		
24 °	33 ' 00.00 "	24 °	39 ' 00.00 "	02.09	02	05.4 "		
24 °	39 ' 00.00 "	24 °	45 ' 00.00 "	02.08	02	04.8 "		
24 °	45 ' 00.00 "	24 °	51 ' 00.00 "	02.07	02	04.2 "		
24 °	51 ' 00.00 "	24 °	57 ' 00.00 "	02.06	02	03.6 "		
24 °	57 ' 00.00 "	25 °	00 ' 00.00 "	02.05	02	03.0 "		
25 °	00 ' 00.00 "	25 °	03 ' 20.00 "	02.05	02	03.0 "		
25 °	03 ' 20.00 "	25 °	10 ' 00.00 "	02.04	02	02.4 "		
25 °	10 ' 00.00 "	25 °	16 ' 40.00 "	02.03	02	01.8 "		
25 °	16 ' 40.00 "	25 °	23 ' 20.00 "	02.02	02	01.2 "		
25 °	23 ' 20.00 "	25 °	30 ' 00.00 "	02.01	02	00.6 "		
25 °	30 ' 00.00 "	25 °	36 ' 40.00 "	02.00	02	00.0 "		
25 °	36 ' 40.00 "	25 °	43 ' 20.00 "	01.99	01	59.4 "		
25 °	43 ' 20.00 "	25 °	50 ' 00.00 "	01.98	01	58.8 "		
25 °	50 ' 00.00 "	25 °	56 ' 40.00 "	01.97	01	58.2 "		
25 °	56 ' 40.00 "	26 °	00 ' 00.00 "	01.96	01	57.6 "		
26 °	00 ' 00.00 "	26 °	03 ' 45.00 "	01.96	01	57.6 "		
26 °	03 ' 45.00 "	26 °	11 ' 15.00 "	01.95	01	57.0 "		
26 °	11 ' 15.00 "	26 °	18 ' 45.00 "	01.94	01	56.4 "		
26 °	18 ' 45.00 "	26 °	26 ' 15.00 "	01.93	01	55.8 "		
26 °	26 ' 15.00 "	26 °	33 ' 45.00 "	01.92	01	55.2 "		
26 °	33 ' 45.00 "	26 °	41 ' 15.00 "	01.91	01	54.6 "		

ANGULOS VERTICALES OBSERVADOS						REFRACCION		
DE			A			MINUTOS	MINUTOS Y SEGUNDOS	
26 ° 41 ' 15.00 "	26 ° 48 ' 45.00 "	26 ° 56 ' 15.00 "	26 ° 48 ' 45.00 "	26 ° 56 ' 15.00 "	27 ° 00 ' 00.00 "	01.90	01	54.0
26 ° 48 ' 45.00 "	26 ° 56 ' 15.00 "	27 ° 00 ' 00.00 "	27 ° 03 ' 45.00 "	27 ° 11 ' 15.00 "	27 ° 18 ' 45.00 "	01.89	01	53.4
26 ° 56 ' 15.00 "	27 ° 00 ' 00.00 "	27 ° 03 ' 45.00 "	27 ° 11 ' 15.00 "	27 ° 18 ' 45.00 "	27 ° 26 ' 15.00 "	01.88	01	52.8
27 ° 00 ' 00.00 "	27 ° 03 ' 45.00 "	27 ° 11 ' 15.00 "	27 ° 18 ' 45.00 "	27 ° 26 ' 15.00 "	27 ° 43 ' 45.00 "	01.88	01	52.8
27 ° 03 ' 45.00 "	27 ° 11 ' 15.00 "	27 ° 18 ' 45.00 "	27 ° 26 ' 15.00 "	27 ° 43 ' 45.00 "	27 ° 41 ' 15.00 "	01.87	01	52.2
27 ° 11 ' 15.00 "	27 ° 18 ' 45.00 "	27 ° 26 ' 15.00 "	27 ° 43 ' 45.00 "	27 ° 41 ' 15.00 "	27 ° 48 ' 45.00 "	01.86	01	51.6
27 ° 18 ' 45.00 "	27 ° 26 ' 15.00 "	27 ° 43 ' 45.00 "	27 ° 41 ' 15.00 "	27 ° 48 ' 45.00 "	27 ° 56 ' 15.00 "	01.85	01	51.0
27 ° 26 ' 15.00 "	27 ° 43 ' 45.00 "	27 ° 41 ' 15.00 "	27 ° 48 ' 45.00 "	27 ° 56 ' 15.00 "	28 ° 00 ' 00.00 "	01.84	01	50.4
27 ° 43 ' 45.00 "	27 ° 41 ' 15.00 "	27 ° 48 ' 45.00 "	27 ° 56 ' 15.00 "	28 ° 00 ' 00.00 "		01.83	01	49.8
27 ° 41 ' 15.00 "	27 ° 48 ' 45.00 "	27 ° 56 ' 15.00 "	28 ° 00 ' 00.00 "			01.82	01	49.2
27 ° 48 ' 45.00 "	28 ° 00 ' 00.00 "					01.81	01	48.6
27 ° 56 ' 15.00 "						01.80	01	48.0
28 ° 00 ' 00.00 "	28 ° 04 ' 17.14 "	28 ° 12 ' 51.43 "	28 ° 21 ' 25.71 "	28 ° 30 ' 00.00 "	28 ° 38 ' 34.29 "	01.80	01	48.0
28 ° 04 ' 17.14 "	28 ° 12 ' 51.43 "	28 ° 21 ' 25.71 "	28 ° 30 ' 00.00 "	28 ° 38 ' 34.29 "	28 ° 47 ' 08.57 "	01.79	01	47.4
28 ° 12 ' 51.43 "	28 ° 21 ' 25.71 "	28 ° 30 ' 00.00 "	28 ° 38 ' 34.29 "	28 ° 47 ' 08.57 "	28 ° 55 ' 42.86 "	01.78	01	46.8
28 ° 21 ' 25.71 "	28 ° 30 ' 00.00 "	28 ° 38 ' 34.29 "	28 ° 47 ' 08.57 "	28 ° 55 ' 42.86 "	29 ° 00 ' 00.00 "	01.77	01	46.2
28 ° 30 ' 00.00 "	28 ° 38 ' 34.29 "	28 ° 47 ' 08.57 "	28 ° 55 ' 42.86 "	29 ° 00 ' 00.00 "		01.76	01	45.6
28 ° 38 ' 34.29 "	28 ° 47 ' 08.57 "	28 ° 55 ' 42.86 "	29 ° 00 ' 00.00 "			01.75	01	45.0
28 ° 47 ' 08.57 "	29 ° 00 ' 00.00 "					01.74	01	44.4
28 ° 55 ' 42.86 "						01.73	01	43.8
29 ° 00 ' 00.00 "	29 ° 04 ' 17.14 "	29 ° 12 ' 51.43 "	29 ° 21 ' 25.71 "	29 ° 30 ' 00.00 "	29 ° 38 ' 34.29 "	01.73	01	43.8
29 ° 04 ' 17.14 "	29 ° 12 ' 51.43 "	29 ° 21 ' 25.71 "	29 ° 30 ' 00.00 "	29 ° 38 ' 34.29 "	29 ° 47 ' 08.57 "	01.72	01	43.2
29 ° 12 ' 51.43 "	29 ° 21 ' 25.71 "	29 ° 30 ' 00.00 "	29 ° 38 ' 34.29 "	29 ° 47 ' 08.57 "	29 ° 55 ' 42.86 "	01.71	01	42.6
29 ° 21 ' 25.71 "	29 ° 30 ' 00.00 "	29 ° 38 ' 34.29 "	29 ° 47 ' 08.57 "	29 ° 55 ' 42.86 "	30 ° 00 ' 00.00 "	01.70	01	42.0
29 ° 30 ' 00.00 "	29 ° 38 ' 34.29 "	29 ° 47 ' 08.57 "	29 ° 55 ' 42.86 "	30 ° 00 ' 00.00 "		01.69	01	41.4
29 ° 38 ' 34.29 "	29 ° 47 ' 08.57 "	29 ° 55 ' 42.86 "	30 ° 00 ' 00.00 "			01.68	01	40.8
29 ° 47 ' 08.57 "	30 ° 00 ' 00.00 "					01.67	01	40.2
29 ° 55 ' 42.86 "						01.66	01	39.6
30 ° 00 ' 00.00 "	30 ° 03 ' 36.92 "	30 ° 13 ' 50.77 "	30 ° 23 ' 04.62 "	30 ° 32 ' 18.46 "	30 ° 41 ' 32.31 "	01.66	01	39.6
30 ° 03 ' 36.92 "	30 ° 13 ' 50.77 "	30 ° 23 ' 04.62 "	30 ° 32 ' 18.46 "	30 ° 41 ' 32.31 "	30 ° 50 ' 46.15 "	01.65	01	39.0
30 ° 13 ' 50.77 "	30 ° 23 ' 04.62 "	30 ° 32 ' 18.46 "	30 ° 41 ' 32.31 "	30 ° 50 ' 46.15 "	31 ° 00 ' 00.00 "	01.64	01	38.4
30 ° 23 ' 04.62 "	30 ° 32 ' 18.46 "	30 ° 41 ' 32.31 "	30 ° 50 ' 46.15 "	31 ° 00 ' 00.00 "		01.63	01	37.8
30 ° 32 ' 18.46 "	30 ° 41 ' 32.31 "	30 ° 50 ' 46.15 "	31 ° 00 ' 00.00 "			01.62	01	37.2
30 ° 41 ' 32.31 "	30 ° 50 ' 46.15 "	31 ° 00 ' 00.00 "				01.61	01	36.6
30 ° 50 ' 46.15 "						01.60	01	36.0
31 ° 00 ' 00.00 "	31 ° 09 ' 13.85 "	31 ° 18 ' 27.69 "	31 ° 27 ' 41.54 "	31 ° 36 ' 55.38 "	31 ° 46 ' 09.23 "	01.59	01	35.4
31 ° 09 ' 13.85 "	31 ° 18 ' 27.69 "	31 ° 27 ' 41.54 "	31 ° 36 ' 55.38 "	31 ° 46 ' 09.23 "	31 ° 55 ' 23.08 "	01.58	01	34.8
31 ° 18 ' 27.69 "	31 ° 27 ' 41.54 "	31 ° 36 ' 55.38 "	31 ° 46 ' 09.23 "	31 ° 55 ' 23.08 "	32 ° 00 ' 00.00 "	01.57	01	34.2
31 ° 27 ' 41.54 "	31 ° 36 ' 55.38 "	31 ° 46 ' 09.23 "	31 ° 55 ' 23.08 "	32 ° 00 ' 00.00 "		01.56	01	33.6
31 ° 36 ' 55.38 "	31 ° 46 ' 09.23 "	31 ° 55 ' 23.08 "	32 ° 00 ' 00.00 "			01.55	01	33.0
31 ° 46 ' 09.23 "	32 ° 00 ' 00.00 "					01.54	01	32.4
31 ° 55 ' 23.08 "						01.53	01	31.8

ANGULOS VERTICALES OBSERVADOS						REFRACCION		
DE			A			MINUTOS	MINUTOS Y SEGUNDOS	
32 ° 00 ' 00.00 "	32 ° 05 ' 27.27 "		32 ° 05 ' 27.27 "			01.53	01	31.8 "
32 ° 05 ' 27.27 "	32 ° 16 ' 21.82 "		32 ° 16 ' 21.82 "			01.52	01	31.2 "
32 ° 16 ' 21.82 "	32 ° 27 ' 16.36 "		32 ° 27 ' 16.36 "			01.51	01	30.6 "
32 ° 27 ' 16.36 "	32 ° 38 ' 10.91 "		32 ° 38 ' 10.91 "			01.50	01	30.0 "
32 ° 38 ' 10.91 "	32 ° 49 ' 05.45 "		32 ° 49 ' 05.45 "			01.49	01	29.4 "
32 ° 49 ' 05.45 "	33 ° 00 ' 00.00 "		33 ° 00 ' 00.00 "			01.48	01	28.8 "
33 ° 00 ' 00.00 "	33 ° 10 ' 54.55 "		33 ° 10 ' 54.55 "			01.47	01	28.2 "
33 ° 10 ' 54.55 "	33 ° 21 ' 49.09 "		33 ° 21 ' 49.09 "			01.46	01	27.6 "
33 ° 21 ' 49.09 "	33 ° 32 ' 43.64 "		33 ° 32 ' 43.64 "			01.45	01	27.0 "
33 ° 32 ' 43.64 "	33 ° 43 ' 38.18 "		33 ° 43 ' 38.18 "			01.44	01	26.4 "
33 ° 43 ' 38.18 "	33 ° 54 ' 32.73 "		33 ° 54 ' 32.73 "			01.43	01	25.8 "
33 ° 54 ' 32.73 "	34 ° 00 ' 00.00 "		34 ° 00 ' 00.00 "			01.42	01	25.2 "
34 ° 00 ' 00.00 "	34 ° 06 ' 00.00 "		34 ° 06 ' 00.00 "			01.42	01	25.2 "
34 ° 06 ' 00.00 "	34 ° 18 ' 00.00 "		34 ° 18 ' 00.00 "			01.41	01	24.6 "
34 ° 18 ' 00.00 "	34 ° 30 ' 00.00 "		34 ° 30 ' 00.00 "			01.40	01	24.0 "
34 ° 30 ' 00.00 "	34 ° 42 ' 00.00 "		34 ° 42 ' 00.00 "			01.39	01	23.4 "
34 ° 42 ' 00.00 "	34 ° 54 ' 00.00 "		34 ° 54 ' 00.00 "			01.38	01	22.8 "
34 ° 54 ' 00.00 "	35 ° 00 ' 00.00 "		35 ° 00 ' 00.00 "			01.37	01	22.2 "
35 ° 00 ' 00.00 "	35 ° 06 ' 00.00 "		35 ° 06 ' 00.00 "			01.37	01	22.2 "
35 ° 06 ' 00.00 "	35 ° 18 ' 00.00 "		35 ° 18 ' 00.00 "			01.36	01	21.6 "
35 ° 18 ' 00.00 "	35 ° 30 ' 00.00 "		35 ° 30 ' 00.00 "			01.35	01	21.0 "
35 ° 30 ' 00.00 "	35 ° 42 ' 00.00 "		35 ° 42 ' 00.00 "			01.34	01	20.4 "
35 ° 42 ' 00.00 "	35 ° 54 ' 00.00 "		35 ° 54 ' 00.00 "			01.33	01	19.8 "
35 ° 54 ' 00.00 "	36 ° 00 ' 00.00 "		36 ° 00 ' 00.00 "			01.32	01	19.2 "
36 ° 00 ' 00.00 "	36 ° 06 ' 40.00 "		36 ° 06 ' 40.00 "			01.32	01	19.2 "
36 ° 06 ' 40.00 "	36 ° 20 ' 00.00 "		36 ° 20 ' 00.00 "			01.31	01	18.6 "
36 ° 20 ' 00.00 "	36 ° 33 ' 20.00 "		36 ° 33 ' 20.00 "			01.30	01	18.0 "
36 ° 33 ' 20.00 "	36 ° 46 ' 40.00 "		36 ° 46 ' 40.00 "			01.29	01	17.4 "
36 ° 46 ' 40.00 "	37 ° 00 ' 00.00 "		37 ° 00 ' 00.00 "			01.28	01	16.8 "
37 ° 00 ' 00.00 "	37 ° 13 ' 20.00 "		37 ° 13 ' 20.00 "			01.27	01	16.2 "
37 ° 13 ' 20.00 "	37 ° 26 ' 40.00 "		37 ° 26 ' 40.00 "			01.26	01	15.6 "
37 ° 26 ' 40.00 "	37 ° 40 ' 00.00 "		37 ° 40 ' 00.00 "			01.25	01	15.0 "
37 ° 40 ' 00.00 "	37 ° 53 ' 20.00 "		37 ° 53 ' 20.00 "			01.24	01	14.4 "
37 ° 53 ' 20.00 "	38 ° 00 ' 00.00 "		38 ° 00 ' 00.00 "			01.23	01	13.8 "
38 ° 00 ' 00.00 "	38 ° 07 ' 30.00 "		38 ° 07 ' 30.00 "			01.23	01	13.8 "
38 ° 07 ' 30.00 "	38 ° 22 ' 30.00 "		38 ° 22 ' 30.00 "			01.22	01	13.2 "
38 ° 22 ' 30.00 "	38 ° 37 ' 30.00 "		38 ° 37 ' 30.00 "			01.21	01	12.6 "
38 ° 37 ' 30.00 "	38 ° 52 ' 30.00 "		38 ° 52 ' 30.00 "			01.20	01	12.0 "
38 ° 52 ' 30.00 "	39 ° 00 ' 00.00 "		39 ° 00 ' 00.00 "			01.19	01	11.4 "
39 ° 00 ' 00.00 "	39 ° 07 ' 30.00 "		39 ° 07 ' 30.00 "			01.19	01	11.0 "

ANGULOS VERTICALES OBSERVADOS				REFRACCION		
DE		A		MINUTOS	MINUTOS Y SEGUNDOS	
39 ° 07 ' 30.00 "	39 ° 22 ' 30.00 "	01.18	01	10.8		
39 ° 22 ' 30.00 "	39 ° 37 ' 30.00 "	01.17	01	10.2		
39 ° 37 ' 30.00 "	39 ° 52 ' 30.00 "	01.16	01	09.6		
39 ° 52 ' 30.00 "	40 ° 00 ' 00.00 "	01.15	01	09.0		
40 ° 00 ' 00.00 "	40 ° 07 ' 30.00 "	01.15	01	09.0		
40 ° 07 ' 30.00 "	40 ° 22 ' 30.00 "	01.14	01	08.4		
40 ° 22 ' 30.00 "	40 ° 37 ' 30.00 "	01.13	01	07.8		
40 ° 37 ' 30.00 "	40 ° 52 ' 30.00 "	01.12	01	07.2		
40 ° 52 ' 30.00 "	41 ° 00 ' 00.00 "	01.11	01	06.6		
41 ° 00 ' 00.00 "	41 ° 07 ' 30.00 "	01.11	01	06.6		
41 ° 07 ' 30.00 "	41 ° 22 ' 30.00 "	01.10	01	06.0		
41 ° 22 ' 30.00 "	41 ° 37 ' 30.00 "	01.09	01	05.4		
41 ° 37 ' 30.00 "	41 ° 52 ' 30.00 "	01.08	01	04.8		
41 ° 52 ' 30.00 "	42 ° 00 ' 00.00 "	01.07	01	04.2		
42 ° 00 ' 00.00 "	42 ° 08 ' 34.29 "	01.07	01	04.2		
42 ° 08 ' 34.29 "	42 ° 25 ' 42.86 "	01.06	01	03.6		
42 ° 25 ' 42.86 "	42 ° 42 ' 51.43 "	01.05	01	03.0		
42 ° 42 ' 51.43 "	43 ° 00 ' 00.00 "	01.04	01	02.4		
43 ° 00 ' 00.00 "	43 ° 17 ' 08.57 "	01.03	01	01.8		
43 ° 17 ' 08.57 "	43 ° 34 ' 17.14 "	01.02	01	01.2		
43 ° 34 ' 17.14 "	43 ° 51 ' 25.71 "	01.01	01	00.6		
43 ° 51 ' 25.71 "	44 ° 00 ' 00.00 "	01.00	01	00.0		
44 ° 00 ' 00.00 "	44 ° 08 ' 34.29 "	01.00	01	00.0		
44 ° 08 ' 34.29 "	44 ° 25 ' 42.86 "	00.99	00	59.4		
44 ° 25 ' 42.86 "	44 ° 42 ' 51.43 "	00.98	00	58.8		
44 ° 42 ' 51.43 "	45 ° 00 ' 00.00 "	00.97	00	58.2		
45 ° 00 ' 00.00 "	45 ° 17 ' 08.57 "	00.96	00	58.2		
45 ° 17 ' 08.57 "	45 ° 34 ' 17.14 "	00.95	00	57.0		
45 ° 34 ' 17.14 "	45 ° 51 ' 25.71 "	00.94	00	56.4		
45 ° 51 ' 25.71 "	46 ° 00 ' 00.00 "	00.93	00	55.8		
46 ° 00 ' 00.00 "	46 ° 08 ' 34.29 "	00.93	00	55.8		
46 ° 08 ' 34.29 "	46 ° 25 ' 42.86 "	00.92	00	55.2		
46 ° 25 ' 42.86 "	46 ° 42 ' 51.43 "	00.91	00	54.6		
46 ° 42 ' 51.43 "	47 ° 00 ' 00.00 "	00.90	00	54.0		
47 ° 00 ' 00.00 "	47 ° 17 ' 08.57 "	00.89	00	53.4		
47 ° 17 ' 08.57 "	47 ° 34 ' 17.14 "	00.88	00	52.8		
47 ° 34 ' 17.14 "	47 ° 51 ' 25.71 "	00.87	00	52.2		
47 ° 51 ' 25.71 "	48 ° 00 ' 00.00 "	00.86	00	51.6		

ANGULOS VERTICALES OBSERVADOS				REFRACCION		
DE		A		MINUTOS	MINUTOS Y SEGUNDOS	
48 ° 00 ' 00.00 "		48 ° 10 ' 00.00 "		00.86 ' 00 ' 51.6 "		
48 ° 10 ' 00.00 "		48 ° 30 ' 00.00 "		00.85 ' 00 ' 51.0 "		
48 ° 30 ' 00.00 "		48 ° 50 ' 00.00 "		00.84 ' 00 ' 50.4 "		
48 ° 50 ' 00.00 "		49 ° 00 ' 00.00 "		00.83 ' 00 ' 49.8 "		
49 ° 00 ' 00.00 "		49 ° 10 ' 00.00 "		00.83 ' 00 ' 49.8 "		
49 ° 10 ' 00.00 "		49 ° 30 ' 00.00 "		00.82 ' 00 ' 49.2 "		
49 ° 30 ' 00.00 "		49 ° 50 ' 00.00 "		00.81 ' 00 ' 48.6 "		
49 ° 50 ' 00.00 "		50 ° 00 ' 00.00 "		00.80 ' 00 ' 48.0 "		

ANEXO 3

Tablas de factores para presión barométrica sobre el nivel del mar, factores para elevación del terreno sobre el nivel del mar o presión barométrica observada, factores para temperatura observada a la sombra.

Tabla 4
**TABLA DE FACTORES PARA PRESION BAROMETRICA
 O ELEVACION DEL TERRENO
 SOBRE EL NIVEL DEL MAR, OBSERVADAS**

ELEVACION EN METRO PRESION EN mm DE Hg					
DE	A	DE	A	FACTOR	
0	14	762	761	1.01	
14	70	761	756	1.01	
70	154	756	748	1.00	
154	239	748	740	0.99	
239	325	740	733	0.98	
325	412	733	725	0.97	
412	499	725	718	0.96	
499	588	718	710	0.95	
588	678	710	702	0.94	
678	768	702	695	0.93	
768	860	695	687	0.92	
860	953	687	679	0.91	
953	1,046	679	672	0.90	
1,046	1,141	672	664	0.89	
1,141	1,237	664	657	0.88	
1,237	1,334	657	649	0.87	
1,334	1,432	649	641	0.86	
1,432	1,531	641	634	0.85	
1,531	1,632	634	626	0.84	
1,632	1,734	626	618	0.83	
1,734	1,837	618	611	0.82	
1,837	1,941	611	603	0.81	
1,941	2,046	603	596	0.80	
2,046	2,153	596	588	0.79	
2,153	2,262	588	580	0.78	
2,262	2,372	580	573	0.77	
2,372	2,483	573	565	0.76	
2,483	2,596	565	558	0.75	
2,596	2,710	558	550	0.74	
2,710	2,826	550	542	0.73	
2,826	2,943	542	535	0.72	
2,943	3,062	535	527	0.71	
3,062	3,184	527	519	0.70	
3,184	3,306	519	512	0.69	
3,306	3,368	512	508	0.68	

Tabla 5

TABLA DE FACTORES PARA ELEVACION DEL TERRENO
SOBRE EL NIVEL DEL MAR O PRESION BAROMETRICA
OBSERVADA

ELEVACION EN PIES PRESION EN PULGADAS DE Hg					
DE	A	DE	A	FACTOR	
0	229	30.0	29.8	1.01	
229	505	29.8	29.5	1.00	
505	784	29.5	29.2	0.99	
784	1,066	29.2	28.9	0.98	
1,066	1,350	28.9	28.6	0.97	
1,350	1,638	28.6	28.3	0.96	
1,638	1,929	28.3	28.0	0.95	
1,929	2,223	28.0	27.7	0.94	
2,223	2,521	27.7	27.4	0.93	
2,521	2,821	27.4	27.1	0.92	
2,821	3,125	27.1	26.8	0.91	
3,125	3,432	26.8	26.5	0.90	
3,432	3,743	26.5	26.2	0.89	
3,743	4,057	26.2	25.9	0.88	
4,057	4,375	25.9	25.6	0.87	
4,375	4,697	25.6	25.3	0.86	
4,697	5,023	25.3	25.0	0.85	
5,023	5,352	25.0	24.7	0.84	
5,352	5,686	24.7	24.4	0.83	
5,686	6,024	24.4	24.1	0.82	
6,024	6,366	24.1	23.8	0.81	
6,366	6,713	23.8	23.5	0.80	
6,713	7,063	23.5	23.2	0.79	
7,063	7,418	23.2	22.9	0.78	
7,418	7,779	22.9	22.6	0.77	
7,779	8,144	22.6	22.3	0.76	
8,144	8,514	22.3	22.0	0.75	
8,514	8,889	22.0	21.7	0.74	
8,889	9,269	21.7	21.4	0.73	
9,269	9,654	21.4	21.1	0.72	
9,654	10,045	21.1	20.8	0.71	
10,045	10,442	20.8	20.5	0.70	
10,442	10,845	20.5	20.2	0.69	
10,845	11,047	20.2	20.0	0.68	

Tabla 6

TABLA DE FACTORES PARA TEMPERATURA
OBSERVADA A LA SOMBRA

TEMPERATURA EN GRADOS FARENHEIT		TEMPERATURA EN GRADOS CENTRIGRADOS		FACTOR
DE	A	DE	A	
5.0	8.3	-15.0	-13.2	1.09
8.3	12.5	-13.2	-10.8	1.08
12.5	17.5	-10.8	-8.1	1.07
17.5	22.5	-8.1	-5.3	1.06
22.5	27.5	-5.3	-2.5	1.05
27.5	32.5	-2.5	0.3	1.04
32.5	37.5	0.3	3.1	1.03
37.5	42.5	3.1	5.8	1.02
42.5	47.5	5.8	8.6	1.01
47.5	52.5	8.6	11.4	1.00
52.5	57.5	11.4	14.2	0.99
57.5	62.5	14.2	16.9	0.98
62.5	67.5	16.9	19.7	0.97
67.5	72.5	19.7	22.5	0.96
72.5	77.5	22.5	25.3	0.95
77.5	85.0	25.3	29.4	0.94
85.0	92.5	29.4	33.6	0.93
92.5	97.5	33.6	36.4	0.92
97.5	105.0	36.4	40.6	0.91
105.0	112.5	40.6	44.7	0.90
112.5	117.5	44.7	47.5	0.89
117.5	120.0	47.5	49.0	0.88

FORMULA DE CONVERSION

$$^{\circ}C = \frac{5}{9} (^{\circ}F - 32)$$

$$^{\circ}F = \left(\frac{9}{5} ^{\circ}C \right) + 32$$

Tabla 7

TABLAS DE PARALAJE SOLAR
COMPRENDIDA ENTRE 20° Y 50°
DE ANGULOS VERTICALES OBSERVADOS
PARA SER APLICADA A ESTOS.

ANGULOS VERTICALES OBSERVADOS				PARALAJE		
DE		A		MINUTOS	MINUTOS Y SEGUNDOS	
20 °	00 ′	28 °	30 ′	00.14 ′	00 ′	08.4 ″
28 °	30 ′	35 °	00 ′	00.13 ′	00 ′	07.8 ″
35 °	00 ′	41 °	00 ′	00.12 ′	00 ′	07.2 ″
41 °	00 ′	46 °	00 ′	00.11 ′	00 ′	06.6 ″
46 °	00 ′	49 °	00 ′	00.10 ′	00 ′	06.0 ″
49 °	00 ′	50 °	00 ′	00.09 ′	00 ′	05.4 ″

ANEXO 4
Sistema GPS/GLONASS

SISTEMA GLONASS

El Sistema Ruso GLONASS es también operativo, y a pesar de que actualmente la constelación no está completada, proporciona a los usuarios civiles unas precisiones en el posicionamiento absoluto típicamente mejores que las que proporciona el Sistema GPS, debido a la aplicación de la degradación intencionada de la información denominada Disponibilidad Selectiva (SA). El GLONASS consta de una constelación de 16 satélites (13 en activo y 3 satélites de repuesto) situados en tres planos orbitales con 8 satélites cada uno y siguiendo una órbita inclinada de $64,8^\circ$ con un radio de 25510 kilómetros. La constelación de GLONASS se mueve en órbita alrededor de la tierra con una altitud de 19.100 kilómetros (algo más bajo que el GPS) y tarda aproximadamente 11 horas y 15 minutos en completar una órbita.

El Sistema GLONASS, al igual que el Sistema GPS, está formado por tres sectores fundamentales: el *Sector de Control*, el *Sector Espacial* y el *Sector Usuario*.

SECTOR USUARIO.

El Sistema GLONASS es un sistema militar y civil. Todos los usuarios militares y civiles constituyen el Sector Usuario. El desarrollo y diseño de nuevos receptores por parte de los fabricantes está en continua evolución.

Un equipo de recepción de señales GLONASS, al igual que uno de GPS, está formado por una antena y un receptor. La antena suele llevar un plano de tierra para evitar el efecto multipath, es decir, la recepción de señales reflejadas en el suelo u otros objetos, que empeoran la precisión. Los receptores disponen de un reloj para sincronizar las señales recibidas.

Existen dos generaciones de receptores GLONASS. La primera generación contenían 1,2 y 4 canales. La segunda generación son ya mucho más compactos y ligeros, incluyendo 5, 6 y 12 canales, usados para aplicaciones civiles y capaces de operar con las dos constelaciones GPS/GLONASS.

Fuera de Rusia, hay un número considerable de fabricantes e investigadores que han diseñado y construido receptores GLONASS o GPS/GLONASS incluyendo doble frecuencia y códigos C/A y P. Algunos de ellos eran prototipos desarrollados para ganar experiencia con GLONASS, y otros para aplicaciones específicas.

Entre las principales marcas del receptores GLONASS o GPS/GLONASS se encuentran:

- GEOTRACER 2404: 12 canales GPS y 12 canales GLONASS.
- Magnavox: 8 canales GLONASS.
- 3S Navigation: 12 canales GNSS para navegación.
- GG-24 Astech: 12 canales GPS y 12 canales GLONASS.
- Sercel Scorpio 6001: 16 canales GPS/GLONASS.

Los Sistemas GPS y GLONASS son sistemas autónomos, es decir, cada uno tiene su propio sistema de referencia y su propio sistema o escala de tiempo. Usan diferentes sistemas de referencia para expresar las posiciones de sus satélites, y por lo tanto, para determinar las posiciones de los usuarios.

Para poder utilizar los dos Sistemas de Posicionamiento por Satélite, GPS y GLONASS, es decir, recibir señales de los satélites de la constelación GPS y de la constelación GLONASS, es necesario establecer la relación entre los sistemas de tiempo y sistemas de referencia utilizados en los dos sistemas. El Sistema GPS utiliza el sistema de referencia WGS-84, mientras que el Sistema GLONASS utiliza el PZ-90. Los parámetros que definen los dos sistemas de referencia son significativamente diferentes.

El Laboratorio Lincoln de Massachusetts hizo un estudio de las precisiones que ofrecen ambos sistemas de posicionamiento y las precisiones de su uso combinado, analizando las precisiones obtenidas en posicionamiento absoluto usando en código C/A durante periodos de 24 h. La precisión con GLONASS, obtenida en estas pruebas es mejor que los niveles garantizados por el Gobierno Ruso. Además, la precisión con GLONASS es mejor que la obtenida con GPS debido a que la Disponibilidad Selectiva está activada. Sin embargo, si la SA estuviera desactivada, la precisión con GPS sería mejor que con GLONASS. Los siguientes valores muestran los resultados obtenidos por el Laboratorio Lincoln en una de las pruebas realizadas para la obtención de posiciones absolutas utilizando la constelación GLONASS, la constelación GPS y su uso combinado GPS/GLONASS.

Con la disponibilidad de receptores GPS/GLONASS, el usuario puede tener acceso a un sistema combinado de hasta 48 satélites (con la dos constelaciones completas). Con todos estos satélites, los trabajos en desfiladeros y otras localizaciones de visibilidad restringida, tales como áreas boscosas, etc., es mejorada debido a la posibilidad de mayor información de más satélites. Además, una mayor constelación de satélites también mejora la ejecución del posicionamiento diferencial en tiempo real, ya que, el tiempo menor de toma de datos, con respecto a un posicionamiento diferencial

calculado en post-proceso, se ve compensado por la obtención de una mayor información de más satélites. Pero eso no es todo, además el tiempo de inicialización para alcanzar precisiones de nivel centimétrico mejora en un factor de 3 a 6 con una constelación de 48 satélites.

El posicionamiento posee una integridad mayor. Para un nivel de confianza de 99.9% el posicionamiento con GPS requiere una recepción continua de 6 o mas satélites en sus constelación de 24 satélites. Para el mismo nivel de confianza, usando GPS/GLONASS se requiere una recepción continua de 7 satélites de los 48 de la combinación. Las operaciones de código diferencial vienen a ser más simples. Debido a que no existe una degradación deliberada de la precisión, el trabajo con GLONASS diferencial requiere mucha menor cantidad de correcciones. Es posible la detección del 100% de los fallos, tanto en disponibilidad de los satélites, como en la calidad de la información que transmiten, gracias a la existencia de los RAIM (Receiver Autonomous Integrity Monitoring), que son receptores autónomos de seguimiento íntegro que utilizan unos algoritmos que detectan anomalías en la transmisión de datos, aún figurando un buen estado de salud en los mensajes de navegación y almanaques.

Las principales ventajas del uso combinado GPS/GLONASS son la mejora en la geometría de los satélites y la mitigación de la Disponibilidad Selectiva. Las posiciones se estiman usando los parámetros de transformación entre el sistema PZ-90 y el WGS-84.