

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**UTILIZACIÓN DE LA TECNOLOGÍA GPS EN LEVANTAMIENTOS
DE POLIGONALES CERRADAS.
COMPARACIÓN ENTRE UNA POLIGONAL GPS Y
UNA POLIGONAL TRADICIONAL.**

TESIS

**PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA**

POR

ADALBERTO RENÉ ROBLES STUBBS

**AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

Guatemala, noviembre de 1,995.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

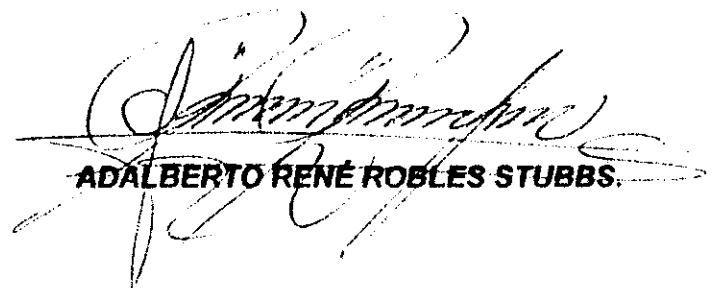
08
T(3621)
C-4

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 tesis titulado:

UTILIZACIÓN DE LA TECNOLOGÍA GPS EN LEVANTAMIENTOS DE POLIGONALES CERRADAS. Comparación entre una poligonal GPS y una poligonal tradicional.

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil con fecha 29 de octubre de 1,993.



ADALBERTO RENÉ ROBLES STUBBS.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

MIEMBROS DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Julio Ismael González Podszueck
VOCAL 1o	Ing. Miguel Angel Sánchez Guerra.
VOCAL 2o	Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano.
VOCAL 3o	Ing. Juan Adolfo Echeverría Méndez
VOCAL 4o	Br. Fernando Waldemar De León Contreras
VOCAL 5o	Br. Pedro Ignacio Escalante Pastor
SECRETARIO	Ing. Francisco Javier González López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN

GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Julio Ismael González Podszueck
EXAMINADOR	Ing. Tonio Michelle Bonatto Mérida
EXAMINADOR	Ing. Ricardo Augusto Ibarra Menéndez
EXAMINADOR	Ing. Mario Rodolfo Corzo Avila.
SECRETARIO	Ing. Francisco Javier González López

Guatemala, 28 de septiembre de 1,995.

Ing. E. René González C.
Jefe Departamento de Topografía,
Escuela Ingeniería Civil.
Universidad de San Carlos de Guatemala.


Ingeniero González:

Por este medio le informo que ya he revisado el trabajo de tesis titulado **UTILIZACIÓN DE LA TECNOLOGÍA GPS EN LEVANTAMIENTOS DE POLIGONALES CERRADAS. Comparación entre una poligonal GPS y una poligonal tradicional**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Adalberto René Robles Stubbs, con la asesoría del suscrito.

El trabajo en mención pone al alcance de los estudiantes y profesionales afines al tema, conceptos sobre una nueva tecnología tan versátil como las hasta ahora utilizadas, y sin difusión en nuestro medio.

Por lo anterior, apruebo y recomiendo para su aprobación.

atentamente,


Ing. Carlos Enrique Mejía C.
Asesor.



Guatemala, 18 de octubre de 1995

FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

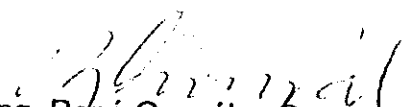
Ingeniero:
Jack D. Ibarra S.
Director de la Escuela de
Ingeniería Civil
Presente.

Ing. Ibarra:

Por este medio informo a usted que he revisado el trabajo de tesis titulado **"UTILIZACIÓN DE LA TECNOLOGÍA GPS EN LEVANTAMIENTOS DE POLIGONALES CERRADAS. Comparación entre una poligonal GPS y una poligonal tradicional"** desarrollado por el estudiante universitario Adalberto René Robles Stubbs y asesorado por el Ingeniero Carlos Enrique Mejía Ceballos.

Habiendo determinado que dicho trabajo cumple con lo establecido y que será de mucha utilidad para estudiantes y profesionales de la ingeniería, el suscrito le da su aprobación.

atentamente,


Ing. René González Carrera
Coordinador del Área de Topografía.

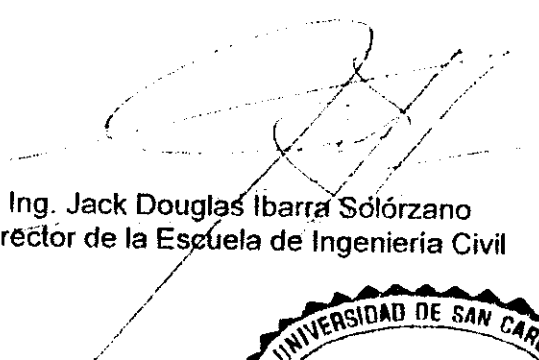


FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, Ingeniero Jack Douglas Ibarra Solórzano, después de conocer el dictamen del Asesor con el Visto Bueno del Jefe de Departamento, al trabajo de tesis del estudiante *Adalberto René Robles Stubbs*, titulado **UTILIZACIÓN DE LA TECNOLOGÍA GPS EN LEVANTAMIENTOS DE POLIGONALES CERRADAS. COMPARACIÓN ENTRE UNA POLIGONAL GPS Y UNA POLIGONAL TRADICIONAL**, procede a la autorización del mismo.


Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano
Director de la Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala, 2 de Noviembre de 1,995



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano, al trabajo de tesis UTILIZACION DE LA TECNOLOGIA GPS EN LEVANTAMIENTOS DE POLIGONALES CERRADAS, del estudiante Adalberto René Robles Stubbs, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:

Ing. Julio Ismael González Podszueck
DECANO



Guatemala, noviembre de 1,995

/bbdeb.

Acto que dedico

A:

Mis Padres:

Flory Stubbs de Robles
René Robles De León.
Por su amor y dedicación.
Como una pequeña recompensa a sus esfuerzos.

Mi Esposa:

Mary.
*Por su amor, comprensión y ayuda,
con amor eterno.*

Mis Hijas:

María Fernanda y Jackeline Maritza.
*Por ser los frutos de mi amor.
Como un ejemplo para el largo bregar
en el camino de sus vidas.*

Mis Hermanos:

Carlos y Perlita.
Por su apoyo y empuje.

Mis Sobrinos:

Leslie, Yazmín, Madelyn y Carlos Fernando.
Con cariño especial.

Mis Abuelitos:

Fidelina Polanco de Stubbs (†)
Ofelia Ponce De León (†)
Carlos Stubbs C.
Osmundo Robles M. (†)
Con dedicatoria y recuerdos especiales.

La Familia:

Hernández De La Cruz.
Mi segunda familia.

Mis Amigos: Carlos, Miriam, Vinicio, Jacobo, Giovany y Edwin
Por su amistad y compañerismo.

Mi Amigo: Luis Pineda (†)
Recordándolo y extrañándolo.

Los Establecimientos: - Escuela "Adolfo Ferriere"
- Colegio "San Marcos"
- Instituto Básico Experimental de San Pedro Carchá.
- Instituto de Bachillerato en Construcción de San Pedro Carchá y
- Facultad de Ingeniería, USAC.
Por su legado de formación, principios morales y educación.

La Ciudad: San Pedro Carchá, Alta Verapaz.
Mi añorado y querido terruño.

Agradecimiento especial:

A:

Dios

*Por ser la luz que siempre ha guiado mis pasos
Porqué Él conmigo, quién contra mí.*

Mis Profesores

Esmeralda de Guay
Heriberto Martínez
Carlos Henstemberg
Nelly de Gamboa
Ricardo Coy Ibarra.

*Por el esfuerzo y empeño puesto en cada día de mi
educación y formación personal.*

Los ingenieros

Carlos Hermosilla.
Glenda García
Jack Ibarra
Francisco Campos

Por su formación y ejemplo profesional.

Las empresas

Metrotel
Multitek y a
Mauricio Padilla, topografía

*Porque sin su apoyo, no hubiese sido posible el presente
trabajo de tesis.*

INDICE GENERAL

	Pag.
Glosario	1
Listado de simbolos	5
Introducción	7
Objetivos	9

CAPÍTULO 1: HISTORIA

1.1) Historia del sistema GPS	10
1.2) Topografía con el sistema GPS	11
1.3) Historia sobre las técnicas de observación	12
1.4) Historia del desarrollo en equipos (hardware)	12

CAPÍTULO 2: CONCEPTOS GENERALES

2.1) Constelación de satélites	15
2.1.1) Configuración	15
2.1.2) Satélites	15
2.1.3) Categoría de los satélites	16
2.1.4) La señal de los satélites	16
2.1.5) Identificación de los satélites	17
2.1.6) Negación de precisión y acceso	18

	Pag.
2.1.6.1) Disponibilidad de selección (SA)	18
2.1.6.2) Contra engaño (AS)	18
2.2) Sistema de control terrestre	18
2.3) Sistema para el usuario	19
2.3.1) Militar	19
2.3.2) Civil	20
2.3.3) Tipos de receptores GPS	20
2.3.3.1) Receptores con código C/A y pseudorange	20
2.3.3.2) Receptores con código C/A y carrier phase	21
2.3.3.3) Receptores con código P y carrier phase	21
2.3.4) Cómo trabaja el sistema GPS	22

CAPÍTULO 3: COMPARACIONES

3.1) Equipo utilizado	26
3.2) Precisiones	27
3.2.1) Precisiones de los instrumentos	27
3.2.2) Precisiones requeridas en nuestro medio	28
3.2.2.1) Tolerancias de cierre angular	28
3.2.2.2) Tolerancias de cierre en distancias	30
3.3) Procedimientos y observaciones de campo	30
3.3.1) Planificación del levantamiento con GPS	30
3.3.1.1) Información necesaria	31
3.3.1.2) Descripción	31
3.3.1.3) Satélites visibles contra el tiempo	31
3.3.1.4) Número de satélites visibles contra el tiempo	32

	Pag.
3.3.1.5) Satélites visibles y pdop contra el tiempo	32
3.3.1.6) Otras gráficas que presenta el Trimplan	32
3.3.2) Descripción del área del levantamiento	32
3.3.3) Levantamiento utilizando tecnología GPS	
33	
3.3.3.1) Método estático	33
3.3.3.2) Método cinemático	34
3.3.3.3) Aplicaciones en el proyecto	36
3.3.4) Levantamiento utilizando topografía convencional	38
3.4) Resultados	39
3.4.1) Personal empleado	39
3.4.2) Tiempos de trabajo de campo	39
3.4.3) Precisiones logradas	40
3.4.3.1) En relación a las distancias	40
3.4.3.2) En relación a los acimuts	41
3.4.4) Tiempos de trabajo de gabinete	41
3.4.5) Resumen de resultados	41
3.4.6) Análisis de resultados	42
3.4.6.1) Personal	42
3.4.6.2) Tiempos	42
3.4.6.3) Error en distancias y perímetro	42
3.4.6.4) Diferencias angulares	43
3.4.6.5) Áreas	43
Conclusiones	44
Recomendaciones	46
Bibliografía	47

ANEXOS

Anexo No. 1	Satélites visibles contra el tiempo	48
Anexo No. 2	Número de satélites visibles contra el tiempo	49
Anexo No. 3	Número de satélites más pdop contra el tiempo	50
Anexo No. 4	Tabla de constelaciones y pdop contra tiempo	51
Anexo No. 5	Acimut contra el tiempo	52
Anexo No. 6	Elevación contra el tiempo	53
Anexo No. 7	Posición: acimut contra elevación	54
Anexo No. 8	Cuadro de diferencias en distancias	55
Anexo No. 9	Cuadro de diferencias angulares	56
Anexo No. 10	Cuadro del cálculo de coordenadas totales y área por el método de pensylvania para el levantamiento con tecnología GPS	57
Anexo No. 11	Cuadro del cálculo de coordenadas totales y área por el método de pensylvania para el levantamiento con topografía convencional	58
Anexo No. 12	Plano del terreno medido con topografía convencional	59
Anexo No. 13	Plano del terreno medido con tecnología GPS	60

Listado de figuras

figura No. 1	Como trabajan los Satélites	24
figura No.2	Sistema convencional terrestre	25

GLOSARIO

Base	También conocido como estación de referencia. Es un receptor que es instalado en un punto conocido en relación a sus coordenadas (x,y,z o su latitud, longitud y altura) o arbitrario, para almacenar datos y con ellos corregir diferencialmente los archivos de los receptores GPS móviles.
Banda L	Grupo de radio frecuencia que se extiende desde 390 a 1550 MHz .Las frecuencias portadoras de las señales GPS $L_1 = 1227.6$ MHz. y $L_2 = 1557.42$ MHz. estan en la banda L.
Carrier phase	Es la diferencia entre la señal portadora generada por un oscilador interno en el receptor GPS y una señal portadora emitida por cada satélite.
CEP (circular error probable)	Medida estadística de la precisión horizontal. El valor CEP está definido como un círculo de un radio específico que contiene el 50% de los puntos obtenidos.
Código C/A (coarse acquisition)	Llamado código civil. El código que se moduló a la señal L_1 de los GPS. Este código provee una secuencia de 1023 códigos binarios bifásicos, arreglados en un patrón pseudoaleatorio, a 1,023 Mhz. y tienen un período de repetición de un milisegundo.
Código P (precision code)	Llamado código protegido o de precisión. Son frecuencias moduladas emitidas por los satélites GPS de secuencia larga de tipo binario pseudo aleatorio a 10.23 Mhz El segmento de duración de este código es de una semana y es único para cada uno de los satélites. Se reinicia cada semana y se repiten en ciclos de 267 días Es el segmento de frecuencia utilizado para aplicaciones militares y autorizado para algunos usuarios; los receptores GPS usados en el trabajo de tesis cuentan con el decodificador para leer este código.
Código PHASE	Mediciones de las señales GPS, específicamente del código C/A.
Constelación	En terminología GPS, se refiere al grupo de satélites usados para calcular las posiciones; 3 satélites para posiciones en 2 dimensiones y 4 satélites para posiciones en 3 dimensiones.

Corrección diferencial	Proceso de corregir posiciones GPS de un lugar desconocido en relación a datos almacenados simultáneamente en un punto conocido (base). Aplica a los receptores que usan el code C/A para sus técnicas de posicionamiento. El receptor base calcula el error de cada satélite y por medio de la corrección diferencial, mejora la precisión de las posiciones GPS almacenadas en puntos por un receptor móvil.
Datum	Dato o referencia, punto de partida, línea o plano de referencia.
DoD	Departamento de la Defensa de los Estados Unidos de Norte América (Department of Defense, por sus siglas en Inglés).
DOP (dilution of precision)	Factor de precisión de las posiciones de los receptores GPS basada en la posición relativa (constelación) de los GPS.
Efemérides	Predicción de la posición actual de los satélites GPS que se transmite al usuario en la señal recibida por los receptores GPS. Puede ser analizada por cualquier programa de planificación para GPS (en nuestro caso fue con el Trimplan).
Enlace	Acción en la cual los receptores GPS captan la señal de radio de uno o varios satélites GPS, para entablar una comunicación en un solo sentido, satélites - receptor.
Época	Intervalo de tiempo de grabación de archivos en receptores GPS.
GPS (global positioning system)	Sistema global de posicionamiento. Consiste en tres segmentos: el espacial (24 satélites NAVSTAR en 6 órbitas diferentes), el control (1 estación central, 5 estaciones de monitoreo y 3 estaciones de ajuste) y el del usuario (toda la gama de receptores GPS).
Interferometria	Medidas efectuadas con interferómetro.

Interferómetro	Cualquiera de los instrumentos ópticos, acústicos o de frecuencia de radio, que usan fenómenos de interferencia entre una onda de referencia y una experimental, o entre dos partes de una onda experimental, con el fin de determinar velocidades y longitudes de onda, distancias y direcciones.
Ionósfera	La capa de la atmósfera cargada de partículas eléctricas comprendida aproximadamente entre las 80 y las 120 millas de la superficie terrestre.
JPO	Oficina de Programas Conjuntos de los Estados Unidos de Norte América (Joint Program Office, por sus siglas en Inglés).
Línea- base	Distancia horizontal o inclinada entre dos receptores GPS.
MHz (mega hertz)	Unidad de medida de la frecuencia, relacionada con un millón de repeticiones en una unidad de tiempo.
Móvil	Cualquier receptor GPS que almacena datos durante una sesión de campo. La posición del receptor puede ser computada de manera relativa a un receptor estacionario (base).
NASA	Oficina para la Administración del Espacio y Aeronáutica (NationalAeronautics and Space Administration, por sus siglas en Inglés).
NAVSTAR	El nombre con que se designa a los satélites GPS. Es el acróstico formado de NAV igation T iming A nd R anging.
PDOP (position dilution of precision)	Factor de precisión relacionado con la calidad de la señal en relación a la constelación. En general mientras más pequeño sea (< 7), la posición en tres dimensiones será más precisa.
PRN (pseudorandom noise)	Señal que transmite un código que aparentemente es distribuido de manera aleatoria al igual que el ruido, pero que puede ser reproducido de manera exacta. Cada satélite NAVSTAR produce un código PRN único.

- PSEUDORANGE** Es la medida basada entre la correlación del código transmitido por el satélite GPS y el código de referencia del receptor GPS, que no ha sido corregida como errores de sincronización entre los relojes del satélite y el reloj del receptor.
- SA**
(select 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 hasta de 300 metros pero puede ser eliminado con técnicas de corrección diferencial.
- STATUS** En tecnología GPS, se refiere a la situación prevaleciente durante una sesión de campo en un momento dado.
- UTM**
(universal transverse mercator) Sistema de coordenadas planas, en el que se divide el globo terrestre en 60 zonas perpendiculares al ecuador, las cuales tiene 6 grados de ancho.
- TRANSIT** El predecesor del sistema moderno GPS, cuyo verdadero nombre es NNSS (**N**avy **N**avigational **S**atellite **S**ystem), se compone de 6 satélites que orbitan la tierra a una altura aproximada de 1,100 kilómetros, con órbitas circulares polares. Aún sigue siendo utilizado en algunos sistemas de navegación.

LISTADO DE SIMBOLOS

- a** = Aproximación del teodolito en segundos o minutos.
- CT** = Sistema convencional terrestre de coordenadas.
- cm** = centímetro.
- E** = Espacio.
- Eu** = Error unitario.
- e** = Error angular.
- m** = metro.
- m. az** = Movimiento acimutal del teodolito.
- m. g** = Movimiento general.
- n** = Número de estaciones del polígono.
- P** = Punto posicionado en la tierra, no confundir con el código P (ver glosario).
- ppm** = Partes por millón.
- R^{CT}** = Vector de posición en el sistema terrestre de coordenadas (X^{CT}, Y^{CT}, Z^{CT}).
- T** = Tiempo.
- V** = Velocidad.
- X, Y, Z** = Coordenadas en el sistema terrestre.

X^{CT} = Eje "x" en el sistema convencional terrestre de coordenadas.

Y^{CT} = Eje "y" en el sistema convencional terrestre de coordenadas.

Z^{CT} = Eje "z" en el sistema convencional terrestre de coordenadas.

INTRODUCCIÓN

La necesidad de estudiar el globo terráqueo en su forma y crear modelos matemáticos que representen esa forma, para lograr localizar con la mayor precisión cualquier punto en tres dimensiones (latitud, longitud y altura) en la superficie terrestre, es uno de los principales objetivos de la geodesia; un grupo de especialistas en esta materia creó el sistema global de posicionamiento (GPS), éste se basa en tres renglones: una constelación de satélites, unidades terrestres y receptores. La constelación de satélites GPS es un grupo de 28 satélites, de los cuales 24 se encuentran funcionando y cuatro 4 en reserva; dichos satélites emiten señales de radio que captan los equipos electrónicos receptores GPS que las computan y decodifican para dar como resultado información de la localización de donde está ubicado físicamente el receptor, el tercer componente del sistema GPS son las estaciones terrestres, éstas son unidades de control y monitoreo desde las cuales se pueden ajustar las señales y sobre todo la posición de los satélites.

El sistema global de posicionamiento (GPS), su tecnología y sus aplicaciones son poco conocidas en nuestro medio a pesar que en otros países donde ya se conocen sus bondades se les da un sin fin de aplicaciones en los campos de la geodesia, topografía, navegación y militar, es por ello que el presente trabajo en el **capítulo uno** hace un resumen de la historia sobre el desarrollo del sistema GPS; mientras el **capítulo dos** es una recopilación de los conceptos básicos sobre el sistema GPS.

Uno de sus mayores campos de aplicación es la geodesia y por ende la topografía, y dentro de la topografía la medición de terrenos o poligonales cerradas, tema principal del presente trabajo de tesis, el cual se describe en el **capítulo tres**, donde se realiza una comparación entre un levantamiento de topografía convencional contra un levantamiento realizado con tecnología GPS; en relación a los procedimientos de campo de topografía para la medición angular se utilizó el método de conservación de acimut y para la medición de las distancias fue utilizado el método taquimétrico; en el levantamiento con GPS en una parte se utilizó el método estático, mientras que en el resto se utilizó el método cinemático, el detalle y explicación de cada uno de los métodos se desglosa en el inciso 3.2.1.

Además se presentan cuadros comparativos de tiempos de trabajo de campo, de gabinete y de diferencias, tanto angulares como en distancia, entre ambos levantamientos. Dicha comparación fue realizada y fundamentada en la ley de

agrimensura de la República de Guatemala, de la cual se extrajeron los cuadros sobre cierres angulares y cierres en distancias.

Es preciso hacer el comentario que toda la bibliografía sobre la tecnología GPS utilizada en el presente trabajo y que existe en nuestro medio se encuentra en el idioma inglés y por ello traducirla a nuestro idioma fue imperativamente necesario para hacer un compendio sobre la historia y los conceptos generales y procedimientos de campo que ayudaron a fundamentar este trabajo.

OBJETIVOS

Generales:

Ampliar el material bibliográfico que sirva de apoyo tanto al estudiante de ingeniería en el área de topografía, a los profesionales de la ingeniería civil, como a los estudiantes y profesionales de carreras afines deseosos de aumentar su conocimiento y su campo de trabajo.

Ser marco para nuevos estudios y aplicaciones de la tecnología GPS que amplíen el conocimiento de ésta.

Dar a conocer los conceptos generales en los cuales se basa la tecnología GPS y además hacer una reseña histórica y nombrar a los diferentes científicos, especialistas, grupos de trabajo e instituciones que contribuyeron a hacer lo que es hoy en día el sistema GPS.

Específicos:

Aplicar la tecnología GPS en uno de los campos de la topografía convencional, como lo es el de mediciones de tierras o poligonales cerradas.

Describir dos de los diferentes métodos (el estático y el cinemático) utilizados en levantamientos con tecnología GPS y sus adaptaciones a la topografía moderna.

Comprobar si los receptores GPS de la serie 4000SE cumplen con las precisiones exigidas por la ley de agrimensura de la República, basado en los resultados de la comparación entre el levantamiento convencional y el levantamiento con tecnología GPS, tomando como parámetros de comparación los utilizados en la medición de tierras.

CAPÍTULO 1:
HISTORIA

1.1) HISTORIA DEL SISTEMA GPS :

El sistema GPS fue responsabilidad de la oficina de programas conjuntos (JPO, por sus siglas en inglés). En 1,973 la JPO recibió instrucciones del Departamento de Defensa de los Estados Unidos (DoD, por sus siglas en inglés) para establecer, desarrollar, probar, adquirir y desplegar un sistema de posicionamiento en el espacio, el **NAVSTAR** (*NaVigation System with Time And Ranging*) GPS fue el resultado de este mandato inicial. El GPS fue concebido como un sistema que trabajaba en base a distancias desde las posiciones conocidas de los satélites en el espacio, hacia las posiciones desconocidas en tierra, mar, aire, y espacio.

Debido a que el DoD fue el promotor del sistema GPS su uso fue para servicio militar, pero el Congreso de los Estados Unidos pidió promover el uso civil, esto fue acelerado con los receptores utilizados para levantamientos geodésicos, debido a esto la primera aplicación práctica de la tecnología GPS fue la de establecer redes geodésicas de alta precisión.

El sistema GPS fue desarrollado para reemplazar el sistema **TRANSIT**, debido a dos grandes problemas que tenía este sistema, el principal problema eran los grandes lapsos o períodos de tiempo para obtener (enlazar satélites) señal de los satélites, los usuarios debían interpolar su posición entre cada *enlace*; el segundo problema era su baja precisión para fines de navegación, en contraste el sistema GPS da respuesta a las preguntas: "qué tiempo? , qué posición? y qué velocidad?" de manera rápida precisa y barata en cualquier lugar del planeta y a cualquier tiempo.

En adición, el sistema GPS fue diseñado para resolver problemas inherentes al sistema TRANSIT, pero sobre todo el GPS provee, las veinticuatro horas del día de manera instantánea y en cualquier lugar del mundo, posibilidades de navegación con un error de pocos metros. De cualquier manera el diseño original del sistema no incluía facilidades para hacer levantamientos topográficos de la manera con que se realizan ahora. El uso del sistema **GPS** para fines y aplicaciones geodésicas y topográficas fue el resultado de una serie de experimentos fortuitos descritos a continuación:

* Ver el glosario.

1.2) Topografía con el sistema GPS:

En el año de 1,964 I. Smith se adjudicó una patente que describía un sistema de satélites, que emitiendo código de tiempo y ondas de radio, serían interceptadas (captadas) en la tierra como transmisión de tiempo desfazado, creando líneas hiperbólicas de posición. Este concepto cobró importancia por la forma en que los receptores GPS procesan la señal que emiten los satélites GPS observados para computar vectores de precisión.

Unos cuantos años después este concepto fue refinado por R. Easton (1,970) al patentar un concepto nuevo a la idea de Smith, al agregarle la comparación del código de fase entre dos o más satélites.

En el año de 1,972 C. Counselmann y sus colegas del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MITI, por sus siglas en inglés) del departamento de ciencias planetarias y de la tierra, reportaron por primera vez el uso de: *interferometría* para rastrear el módulo lunar del APOLO XVI. El principio que ellos usaron es en esencia la misma técnica que fue usada después en el desarrollo del primer receptor geodésico de GPS, siendo ésta la medición de las diferencias del *pseudorange* desde dos receptores hacia un mismo satélite. El uso del código *carrier phase* para generar vectores de calidad milimétrica, basado en el trabajo del grupo del MITI usando líneas - bases largas sin interferometría, fue usado entre los años 1,976 y 1,978, cuando probaron que se podía obtener precisiones milimétricas usando esta técnica. Así pues los sistemas para fines topográficos que existen en el presente están descritos en los documentos escritos por Counselmann y Shapiro en 1,978.

Las terminales en miniatura interferométricas para hacer levantamientos en tierra (MITES, por sus siglas en inglés) describen cómo un sistema puede ser usado para hacer levantamientos de precisión, este concepto fue desarrollado aún más e incluido en el sistema *NAVSTAR*, este concepto se basa en la técnica del procesamiento de códigos que luego fue usada para desarrollar receptores de doble frecuencia (L_1 y L_2) de alta precisión.

La mayor contribución del grupo MITI para el desarrollo del sistema *GPS* fue el demostrar por primera vez que la señal del satélite podía ser procesada usando las

* Ver el glosario.

diferencias entre las fases, de tal manera que los vectores entre dos puntos podían ser medidos con precisión milimétrica, para *líneas - bases*[☆] cortas (línea base menor de 10 Km).

1.3) Historia sobre las técnicas de observación:

Cuando se hace referencia a técnicas de topografía de precisión en GPS se está hablando de un vector generado y medido entre dos o más receptores GPS. La técnica o método de observación en la cual ambos receptores se mantienen en una posición fija es llamada *estática*[☆]. Antiguamente este método requería de observaciones durante muchas horas; éste fue el primer método aplicando la tecnología GPS en topografía.

La técnica o método en la cual un receptor se mantiene fijo y el otro u otros en movimiento se conoce como *cinemática*[☆], este método fue desarrollado por B. Remondi en el año de 1,986, quien demostró que se podían obtener vectores de posición y precisión milimétrica usando dos receptores GPS con tan solo unos cuantos segundos de grabación de información por observación.

1.4) Historia del desarrollo en equipos (*hardware*):

La tecnología interferométrica para lecturas de *pseudorange*[†] fue desarrollada por P. MacDoran, auspiciado por el Instituto Tecnológico de California y con apoyo financiero de la NASA[†], esta técnica fue mejorada posteriormente por MacDoran y otros colaboradores en el año de 1,985 para aplicaciones geodésicas comerciales (no necesariamente gubernamentales).

La culminación de la investigación en la tecnología interferométrica para *líneas bases* muy largas dió como resultado la fabricación de un receptor GPS, el cual podía medir *líneas - bases* cortas con precisión milimétrica y *líneas - bases* largas con precisión de una parte por millón (ppm). Este receptor fue nombrado *macrometer interferometric surveyor*[™] (marca registrada de Aero Service Division, Western Atlas International, Houston, Texas), siendo probado por el Comité Federal de Control

[☆] Ver para mayor detalle la sección 3.3.3.1

[™] (trade mark), abreviatura internacional de marca registrada.

Geodésico de los Estados Unidos (FGCC , por sus siglas en inglés) en el año de 1,983, siendo éste el aval para comercializarlo en levantamientos geodésicos.

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

El siguiente desarrollo en receptores GPS fue cuando en 1,985 los fabricantes independientes produjeron los receptores que utilizaban el código *C/A* que median y generaban el *carrier phase* . El primer receptor en existir de estos receptores fue el **4000S** de marca TRIMBLE, éste requería que los datos fueran archivados en una computadora externa con un interface con el receptor y en el lugar propio de la medición. Los primeros receptores TRIMBLE fueron vendidos sin programas de procesamiento de datos, sin embargo la compañía contrató los servicios de C. Goad que produjo programas para el procesamiento de la información y así mismo fijó las normas para los desarrolladores de programas.

Hasta la fecha los receptores incluyen todas las características de los primeros modelos y además funciones adicionales que los hacen más eficientes. La mayoría de los receptores GPS producidos en nuestros días utilizan el código *C/A* (que utiliza una sola frecuencia). De cualquier manera, para proyectos que requieran alta precisión geodésica deben usarse los receptores de doble frecuencia. Muchos de los receptores geodésicos han incorporado la tecnología sin código para rastrear la segunda frecuencia y otros receptores las 2 técnicas (código *C/A* y código *P*) para rastrear satélites en ambas de sus frecuencias. Estos receptores avanzados dan un alto grado

Ver el glosario.

de precisión y productividad aunque tienden a ser más caros que los receptores que solo pueden leer el código C/A.

CAPÍTULO 2:
CONCEPTOS GENERALES

El sistema **GPS** consiste en tres segmentos: 1) Un sistema o constelación de satélites, que emiten señales. 2) Sistema de control terrestre, que regula y monitorea el funcionamiento del sistema de satélites y 3) El sistema para el usuario, incluyendo los diferentes tipos de receptores.

2.1) Constelación de satélites:

2.1.1) Configuración:

En la actualidad se encuentran 28 satélites GPS en órbita, la cual se encuentra a 20,200 kilómetros de la superficie terrestre; los satélites se encuentran agrupados en seis órbitas, con cuatro satélites por órbita con una inclinación y relación entre éstas de 55° y de los 28 satélites 4 son de repuesto que están activos en caso de fallar cualquiera.

Con la constelación completa de satélites pueden ser observados simultáneamente y con relativa facilidad desde cualquier lugar de la tierra y a cualquier hora de cuatro a ocho satélites.

2.1.2) Satélites:

En esencia los satélites GPS proveen una plataforma de receptores de radio, computadores, relojes atómicos y cierto equipo necesario para operar el sistema.

El equipo electrónico de cada satélite GPS permite al usuario medir el **pseudorange** hacia cada satélite, determinando con esto la posición espacial de cada uno, y cada satélite transmite una señal que permite al usuario determinar su posición en la tierra. La determinación de la posición depende del tipo y la capacidad de cada equipo receptor GPS. El equipo auxiliar de un satélite incluye dos paneles solares de siete metros cuadrados, como fuente de energía y un sistema de propulsión que permite hacer ajustes en las órbitas y estabilizar los mismos.

* Ver el glosario.

2.1.3) Categoría de los satélites:

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

11 satélites Block I (con un peso de 845 Kg cada uno) fueron lanzados por el JPO^{*} en el período comprendido entre 1,978 y 1,985 desde la base de la fuerza aérea Vandenberg, en California, con una vida útil de 5 años a lo sumo, es decir, que este tipo de satélites quedaron deshabilitados en 1991.

Existen 28 satélites del Block II, del total 24 están activos y 4 son de repuesto. El primer satélite del Block II fue lanzado en 1989 desde el centro espacial Kennedy, el resto fue lanzado entre los años 1,989 y 1,994. Una de las diferencias entre los satélites del Block I y del Block II es que la órbita del I era de 63° y las del II se encuentran a 55°, otra de las diferencias es que los satélites del Block I no tenían ninguna restricción de señal para los usuarios civiles, mientras que en los satélites del Block II si es restringida.

El inicio de los lanzamientos de los satélites del Block IIR, está programado para finales del presente año, para remplazar al Block II, la diferencia principal entre los del Block II y el Block IIR es que los relojes atómicos son de una precisión mayor.

2.1.4) La señal de los satélites:

La señal emitida por cada satélite es de amplio espectro, lo que la hace menos susceptible a bloqueos o distorsiones intencionales. La técnica de amplio espectro es comunmente usada en la actualidad en gran diversidad de equipo hidrográfico y en redes locales inalámbricas de computación.

La clave para la precisión del sistema GPS es que todos los componentes de la señal son controlados por relojes atómicos. Los satélites del Block II tienen 4 relojes, 2 de rubidio y 2 de cesio, la precisión de estos relojes es del orden de 10^{-13} a 10^{-14} segundos de error por cada día.

Estas normas altas de precisión en la frecuencia son las que permiten a los satélites GPS producir fundamentalmente la banda *L* con una frecuencia de **10.23 MHz**. De esta frecuencia se derivan dos frecuencias *L₁* y *L₂*, que son las frecuencias cuyas ondas son generadas de multiplicar por 154 y 120 la banda *L* respectivamente lo que es igual a:

* Ver el glosario

$$L_1 = 1575.42 \text{ MHz}.$$

$$L_2 = 1227.60 \text{ MHz}.$$

estas frecuencias duales son esenciales para eliminar las fuentes mayores de error, principalmente los efectos producidos por la *ionósfera*.

Los *pseudorange* se derivan de medir el tiempo de viaje de la señal de cada satélite al receptor GPS, que utiliza dos códigos *PRN* que son modulados en dos ondas portadoras base.

El primer código es el *C/A* también designado como el servicio normal de posicionamiento (SPS por sus siglas en inglés) y está disponible para uso civil. El código *C/A* con una longitud de onda efectiva de aproximadamente 300 metros, es modulado solamente en L_1 y es omitida a propósito en L_2 . Esta omisión permite que el JPO controlar la señal emitida por los satélites y esto hace posible distorsionar la señal para negar la mayor precisión para usos no militares.

El segundo código es el *P* diseñado como el servicio de posicionamiento de precisión (PPS por sus siglas en inglés) reservado para usos militares de los Estados Unidos y algunos otros usuarios autorizados (dentro de éstos se encuentran los equipos utilizados en el presente trabajo de tesis). El código *P* con una longitud de onda efectiva aproximadamente de 30 metros es modulada en ambas frecuencias L_1 y L_2 .

En adición al código PRN un mensaje de datos es modulado entre los datos específicos de cada satélite como lo son: la *efemérides*, el coeficiente modelado de la ionósfera, información del *status*, tiempo del sistema y control de los relojes.

2.1.5) Identificación de los satélites:

Los satélites tienen varios sistemas de identificación: tiempo de haberse lanzado, número de secuencia, número de posición orbital, número de catálogo de la *NASA* y/o designaciones internacionales. Pero para evitar cualquier confusión se utiliza solo el número *PRN* que también incluye mensajes de navegación del satélite.

* Ver glosario

2.1.6) Negación de precisión y acceso:

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

2.1.6.1) Disponibilidad de selección (SA):

Primariamente este tipo de negación se consigue al alterar la frecuencia de los relojes de los satélites de tal manera que niega a los usuarios civiles lecturas precisas del código *pseudorange*, este tipo de medida afecta a los usuarios que utilizan un solo receptor GPS. Con el uso de corrección diferencial* entre dos o más receptores GPS este efecto es virtualmente eliminado. El SA solamente se ha implementado en los satélites del Block II y ha sido usado de manera intermitente desde el año 1,990, el error resultante no es constante, variándolo a propósito.

2.1.6.2) Contra Engaño (AS):

Consiste en truncar el mensaje de navegación de manera tal que las coordenadas de los satélites no pueden ser computadas con precisión. El error de posición de los satélites se traduce en un error similar para la posición de los receptores.

El diseño del sistema GPS posee la facultad esencial de apagar el código *P*, como una medida de negar el acceso de dicho código a todos los usuarios civiles. La lógica detrás de este método es para prevenir que fuerzas enemigas envíen señales falsas de tipo GPS, para crear confusión y hacer que los usuarios pierdan su posición.

Los equipos utilizados para mediciones de precisión cuentan con un decodificador para leer el código *P*.

2.2) Sistema de control terrestre:

El sistema que monitorea en tierra es el sistema de control de operaciones (*OCS* por sus siglas en inglés) que consiste de una estación de control central o maestra, estaciones de monitoreo alrededor del mundo y estaciones de control en tierra. La función principal de este sistema es la de rastrear las órbitas y corregir los relojes

* Ver el glosario.

atómicos de los satélites y enviar información hacia los satélites. La estación central se encuentra en la base de la fuerza aérea de Falcon, Colorado Springs, Colorado, cuya función principal es la de compilar la información rastreada por las estaciones de monitoreo, calcular la órbita de cada uno de los satélites y calcular los parámetros de los relojes. Las estaciones de monitoreo son 5, localizadas en Hawai; Colorado Springs; isla Ascensión en el océano Atlántico sur; Diego García en el océano Índico y Kwajalein en el océano Pacífico. Las estaciones de control en tierra se encuentran localizadas también con las estaciones de monitoreo en Ascensión, Diego García y Kwajalein .

2.3) Sistema para el usuario:

2.3.1) Militar:

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

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

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

* Ver el glosario.

2.3.2) Civil:

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

El concepto de usar *interferometría* en lugar de modelo de la solución Doppler significó que el sistema GPS podría ser usado no solamente para determinar líneas-bases de gran longitud para fines geodésicos, sino también para levantamientos topográficos. Hoy en día los receptores GPS están siendo usados para conducir toda clase de levantamientos de control geodésicos y topográficos y se están efectuando evaluaciones para usar el sistema en fotografía aérea para su posición y con esto reducir el control de tierra o sea control de campo para mapeo.

2.3.3) Tipos de Receptores GPS:

Basados en la disponibilidad de tipo de código (*C/A* o *P*) se pueden clasificar los receptores GPS en 3 grupos: 1) Código *C/A pseudorange*, 2) Código *C/A* con *carrier phase*, y 3) aparatos de medición de código *P* con *carrier phase*.

2.3.3.1) Receptores con código *C/A* y *pseudorange*:

Este tipo de receptores de mano es alimentado por baterías convencionales. Los receptores típicos tienen de uno a seis canales independientes y generan una posición tridimensional es decir en latitud, longitud y altura o en algún sistema de proyección para mapas, como por ejemplo las UTM. Los receptores con 4 o más canales se prefieren para aplicaciones en las cuales el receptor está en movimiento mientras simultáneamente los vectores de distancia de los satélites son medidos y ello produce posiciones más precisas.

Por otra parte un receptor de un canal es adecuado para aplicaciones en las cuales el receptor se encuentre en una posición fija y los vectores de distancia son medidos secuencialmente.

Este tipo de receptores es típicamente utilizado por exploradores, en botes y eventualmente en automóviles.

Ver el glosario

La mayor precisión que puede alcanzarse con este tipo de receptor GPS se encuentra alrededor de los 30 metros, si no está activo el SA*, si el SA se encontrara activo el rango de precisión se incrementa a 300 metros.

Recientemente algunos receptores GPS de este tipo ya pueden usarse como *móviles* y tomando como referencia la información de la *estación base* y haciendo *corrección diferencial* se alcanzan precisiones de 5 a 2 metros CEP* inclusive.

2.3.3.2) Receptores con código C/A* y carrier phase:

La mayoría de los receptores usados para levantamientos topográficos durante los años 1,985 a 1,992 usaban el código C/A para adquirir y enlazar la señal L_1 , tienen 4 canales independientes y los más modernos tienen 12 canales.

Estos receptores tienen o pueden hacer todas las funciones de los modelos descritos previamente y en adición almacenan la información de los relojes atómicos, de la distancia y de la señal L_1 de los satélites, en su memoria propia. Los modelos antiguos hacían uso de computadores portátiles que iban conectados al receptor y en las cuales se almacenaba los datos de las observaciones. Los modelos más recientes almacenan la información de las observaciones en memoria propia. Recientemente a este tipo de receptor se le incorporó la capacidad de medir la frecuencia L_2 con *carrier phase*.

Este tipo de receptores puede ser usado para cualquier levantamiento de precisión, incluyendo los levantamientos con el método estático, cinemático y las diferentes combinaciones entre los métodos anteriores.

Con este tipo de receptores y con el procesamiento de corrección diferencial se pueden obtener precisiones del rango de 1 a 5 metros CEP, dependiendo de la distancia a la que se encuentre la estación base; en la actualidad ya se encuentran programas para procesamiento de la información con los cuales se obtienen precisiones en un rango menor de 1 metro CEP*.

2.3.3.3) Receptores con código P* con carrier phase:

Este tipo de receptores usa el código P y por consecuencia puede enlazarse en cualquiera de las frecuencias L_1 o L_2 , o en las dos. Una de las ventajas principales de

* Ver el glosario.

este tipo de receptores es la capacidad de medir **líneas - bases** de gran longitud (mayores de 100 Km) con una precisión de unos cuantos centímetros. Otra de las ventajas es que estos receptores que utilizan el **código P**, pueden medir líneas-bases de mediana longitud (menores de 20 Km), con un período de grabación de 10 minutos, con una precisión de pocos centímetros.

La precisión que se alcanza con este tipo de receptores es la mayor que puede ofrecer esta tecnología hasta la fecha, y esto depende de la longitud de la **línea - base**, como un ejemplo, expuesto anteriormente, en una distancia de 10 kilómetros se alcanza una precisión alrededor de 2 a 3 centímetros CEP.

Si se utiliza un receptor GPS de manera individual o autónoma de cualquiera de los 3 diferentes tipos existentes, se obtendrá una precisión en un rango entre 30 y 50 metros CEP, pero si se encontrará activo el SA el rango sería hasta de 300 metros CEP.

2.3.4) Cómo trabaja el sistema GPS

Para posicionarse en cualquier lugar de la tierra únicamente es necesario tener como mínimo un receptor GPS, para tener una posición aproximada en un rango no mayor a los 50 metros o si se utiliza un receptor GPS como **estación base** y como mínimo otro como **móvil** y luego en oficina se procesa la información se pueden obtener precisiones menores a los 5 metros hasta llegar a precisiones dentro del centímetro, se hace la salvedad que la obtención de tales precisiones depende del tipo de receptor GPS y de los programas con que se procese la información.

La manera en que opera el sistema es a grandes rasgos el siguiente (ver figura No. 1): los satélites que están activos y chequeados por las estaciones de monitoreo están constantemente enviando señales de radio, que al encender un receptor GPS y esperar un tiempo prudencial se logra un **enlace** de señal y con un mínimo de 3 satélites y un buen **pdop**, o en condiciones típicas con 4 satélites se logra obtener la posición con cierta precisión (para mayor detalle de las precisiones ver la sección anterior).

Los receptores **GPS** dan como solución una posición, que después de un complejo cálculo matemático de una variante de la ecuación de la velocidad ($V = E/T$),

* Ver el glosario.

a la cual se incluyen parámetros que afectan el medio en el que circula la señal (la ionósfera por ejemplo); si se sabe que la velocidad de la señal es la velocidad de la luz, y que el tiempo es el tiempo de viaje de la señal medido desde que parte la señal emitida por el satélite hasta que la recibe el receptor, entonces la señal de cada satélite enganchado define una ecuación de posición en tres dimensiones, es decir $aX + bY + cZ = \text{cte.}$; ideal y matemáticamente se necesita tener enlazados 3 satélites y con ello se forma un sistema de 3 ecuaciones y 3 incógnitas,

$$aX + bY + cZ = \text{cte.1}$$

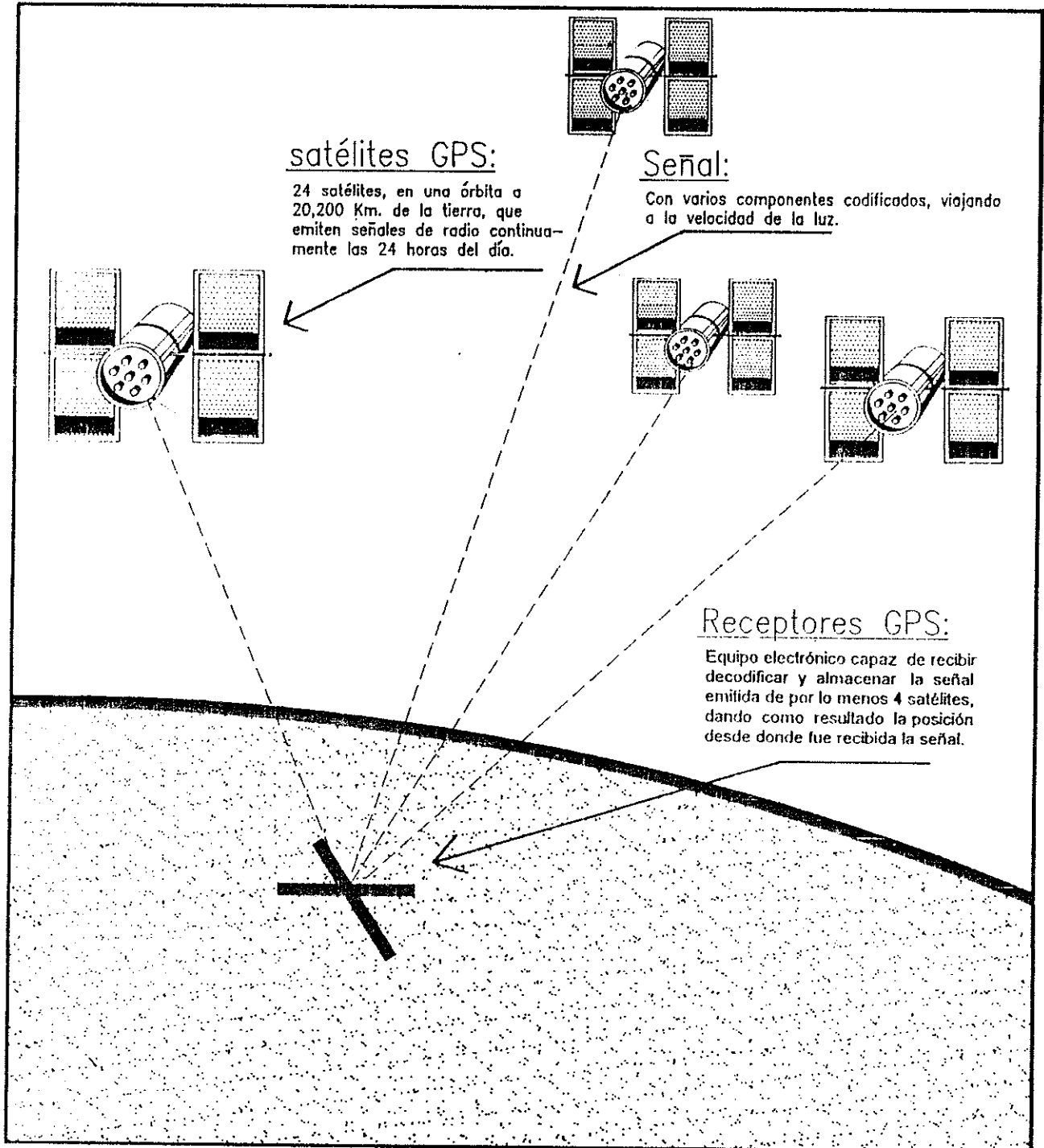
$$dX + eY + fZ = \text{cte.2}$$

$$gX + hY + iZ = \text{cte.3}$$

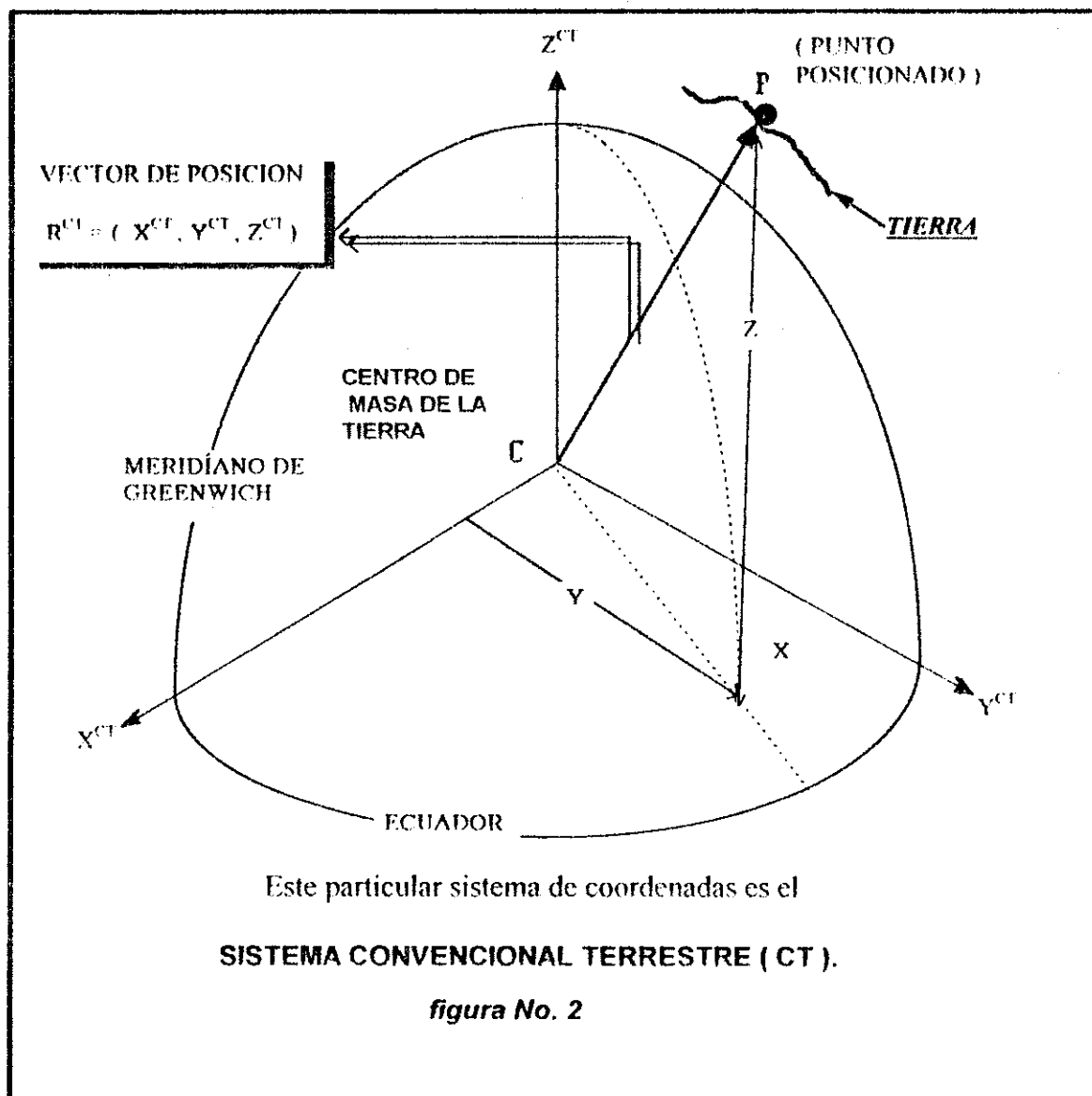
los manuales nos advierten que para definir una posición tridimensional es necesaria la información de 4 satélites, o sea que haya una redundante en el sistema de ecuaciones. Los receptores GPS tienen una minicomputadora capaz de procesar y resolver el sistema de ecuaciones y dar como resultado información de la posición en cualquiera de los sistemas de coordenadas. Para los receptores GPS (serie 4000SE) utilizados en el presente trabajo y debido a los métodos utilizados, los manuales exigen como mínimo tener enlazados 5 satélites.

Los receptores GPS tienen la capacidad de escoger la mejor configuración de satélites, es decir que si el receptor, por ejemplo tiene enlazados 8 satélites utilizará la señal de los 4 satélites que formen la mejor *constelación* para mostrar en pantalla o grabar información de la posición.

figura No. 1



La presentación del sistema GPS^{*} está basado en el sistema de coordenadas convencional (ver figura No. 2) y tiene la capacidad de utilizar cualquiera de las proyecciones conocidas (Lambert, Mercator, etc) dependiendo del país y la proyección que se utilice en el mismo; en Guatemala se utiliza la *proyección transversal de Mercator*, de datum horizontal el Norteamericano de 1,927 para América Central y de datum vertical el del nivel medio del mar del puerto de San José de 1950.



* Ver el glosario.

CAPÍTULO 3 :
COMPARACIONES

3.1) Equipo utilizado:

El siguiente equipo fue utilizado en el levantamiento:

Tecnología GPS^{*} :

- 2 Receptores GPS de marca Trimble modelo 4000SE.
- 1 Antena externa para uso cinemático de la familia **compact dome**.
- 1 Antena interna para uso geodésico de la familia **microSE**.
- 1 Trípode.
- 1 Adaptador (plato) con plomada óptica para enganchar el trípode con uno de los receptores.
- 1 Bastón extensible con nivel de burbuja.
- 1 Mochila especial para cargar uno de los receptores.
- 1 Cable para comunicación entre uno de los receptores y la antena externa.
- 1 Programa TRIMPLAN.
- 1 Programa TRIMMAP.
- 1 Programa AUTOCAD.
- 1 Plotter marca CALCOM modelo Pacesetter.

Topografía convencional:

- 1 Teodolito marca LEICA modelo 100.
- 1 Trípode.
- 1 Estadal de lectura directa.
- 1 Cinta métrica metálica de 50 metros.
- 2 Plomadas de 12 onzas.
- 1 Programa TOPOGRAF, para cálculo.

* Ver el glosario .

3.2) Precisiones:

3.2.1) Precisiones de los instrumentos:

Las precisiones ofrecidas por los fabricantes de los aparatos son las que se presentan a continuación:

GPS :

Precisión horizontal (distancia):

$$1 \text{ cm} + 2 \text{ ppm.}$$

Precisión angular:

$$1 \text{ segundo} + 5/\text{longitud en kilómetros.}$$

Precisión vertical:

$$2 \text{ cm} + 2 \text{ ppm.}$$

Ejemplo:

Si una línea a medir tuviera una distancia de 10 kilómetros las precisiones serían

$$\text{horizontal} = 3 \text{ cm.}$$

$$\text{angular} = 1.5 \text{ segundos.}$$

$$\text{vertical} = 2.2 \text{ cm.}$$

Topografía:

Las precisiones ofrecidas por los fabricantes y basadas en los manuales del aparato son las presentadas a continuación:

* Ver el glosario.

desviación típica : 10 segundos.

desviación usual : 20 segundos.

Ejemplo:

Si una línea a medir tuviera una distancia de 100 metros el error en posición sería de:

1 cm

El error es proporcional a la distancia, es decir si la distancia fuera de 1,000 metros el error en posición sería de :

10 cm.

3.2.2) Precisiones requeridas en nuestro medió:

Todos los trabajos relacionados con agrimensura estan regidos bajo el **Decreto 1786, Ley Reglamentaria para Trabajos de Agrimensura.**

3.2.2.1) Tolerancia de cierre angular:

Este reglón está basado en la Ley de Agrimensura según el capítulo III, artículo 35, que establece que el error angular máximo de cierre en un polígono cerrado depende del tipo de terreno y las condiciones favorables o desfavorables que dificultan efectuar la medición. Los trabajos se clasifican en: trabajos de difícil medición y trabajos de fácil medición.

Trabajos de fácil medición:

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

Trabajos de difícil medición:

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

donde: a = aproximación del aparato en segundos o minutos.
 n = número de estaciones del polígono.

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

Tipo de levantamiento topográfico.	Error de cierre angular ^a	Error angular tolerable.
Por conservación de acimut	acimut de salida = acimut de llegada.	$\leq a * \sqrt{n}$ $\leq a / 2 * \sqrt{n}$
Por deflexiones	suma de deflexiones derechas - suma de deflexiones izquierdas = 360°	$\leq a * \sqrt{n}$ $\leq a / 2 * \sqrt{n}$
Por ángulos internos	suma de ángulos internos = $180^\circ * (n - 2)$	$\leq a * \sqrt{n}$ $\leq a / 2 * \sqrt{n}$
Por triangulación	suma de ángulos = 180° para cada triángulo	1 minuto ó 1 segundo para cada ángulo

^a Siempre debe verificarse en el campo.

3.2.2.2) Tolerancia de cierre en distancia:

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

Trabajos de fácil medición:

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

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

Trabajos de difícil medición:

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

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

3.3) Procedimientos y observaciones de campo

3.3.1) Planificación del levantamiento con GPS¹ :

El **trimplan** es el programa que se utiliza para la planificación del trabajo de campo, toma en cuenta las mejores condiciones geométricas y combinaciones de los diferentes satélites. Esta herramienta es muy importante para la eficiencia y los rendimientos que ofrecen los receptores GPS. Vale la pena hacer la salvedad que una buena planificación depende de una visita de campo para establecer posibles cortinas (obstáculos), densidad boscosa y condiciones generales del área de medición.

¹ Ver el glosario.

3.3.1.1) Información necesaria:

I) Inicialmente se debe de contar con la información aproximada de las coordenadas del lugar, con un rango de precisión entre los 100 metros, ya que el radio de cobertura de la información obtenida por este programa es de 500 kilómetros.

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

3.3.1.2) Descripción:

El **trimplan** ofrece como resultado una serie de gráficas, dependiendo de los requerimientos las gráficas más útiles son: satélites visibles contra el tiempo, número de satélites visibles contra el tiempo, satélites visibles más $pdop$ contra el tiempo. La forma de interpretación de cada una de las gráficas se detalla a continuación:

3.3.1.3) Satélites visibles contra el tiempo (ver anexo No. 1):

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

* Ver el glosario.

3.3.1.4) Número de satélites visibles contra el tiempo (ver anexo No. 2):

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

3.3.1.5) Satélites visibles más *pdop* contra el tiempo (ver anexo No. 3):

Esta gráfica es la más importante para la planificación ya que encierra información del número de satélites, descrita en la parte anterior inmediata y agrega el comportamiento del *pdop* en cada intervalo de tiempo, el *pdop* es un factor que mantiene una relación directamente proporcional a la calidad y a la precisión de las mediciones o resultados, nuevamente las recomendaciones de los manuales y especialistas indican que para los receptores **GPS** que se utilizaron y las precisiones que se desean obtener, el máximo *pdop* debe ser de 5.

Además presenta un listado que incluye las diferentes combinaciones de satélites (constelaciones) con sus respectivos tiempos de inicio, de finalización, intervalo de duración, *pdop* al inicio y al final de cada combinación (ver anexo No. 4).

3.3.1.6) Otras gráficas que presenta el trimplan:

Éstas aunque no son muy importantes pueden servir como referencia para conocer la posición en el espacio de cada uno de los satélites, estas gráficas de complemento son: acimut contra tiempo (ver anexo No.5), elevación contra tiempo (ver anexo No. 6) y acimut contra elevación (ver anexo No.7).

3.3.2) Descripción del área del levantamiento:

El terreno a medir es una fracción de la finca Santa Teresa que se encuentra localizada en jurisdicción del municipio de Villa Canales, del departamento de Guatemala, a la altura del kilómetro 24 de la carretera que conduce de Villa Canales a Villa Nueva y a la orilla de la propia carretera. El cultivo principal en dicho lugar es la caña de azúcar, la cual se encuentra en plena producción, las características del

* Ver el glosario.

terreno son: plano en un 85 % y con ondulaciones poco prominentes, árboles de poca frondosidad, con una red de calles balastradas para un buen acceso a todas las áreas del terreno.

Por las características antes mencionadas dicho terreno se catáloga como un **terreno de fácil medición.**

3.3.3) Levantamiento utilizando tecnología GPS^{*} :

Después de hacer un observación ligera del área de trabajo se determinó conveniente utilizar una combinación de dos métodos: el estático y el cinemático. A continuación una descripción de ambos métodos y la forma de combinarlos:

3.3.3.1) Método estático:

Método por el cual se definen puntos de control geodésicos y que sirven de referencia para cualquier medición, ya sea de topografía convencional o de GPS, consiste en lo siguiente:

l) Se ubican y localizan físicamente (en el campo) los puntos de control a medir dejando referencias o monumentos. El procedimiento es el siguiente: Se enrosca el plato con mira óptica y ojo de pescado al trípode y se procede a centrar y nivelar sobre el punto de control, luego se engancha el receptor GPS al plato que cuenta con un dispositivo especial y seguro para asirlo. Este procedimiento se realiza para cada punto de control. Las mediciones se pueden hacer punto por punto, de dos en dos (formando una *línea - base*^{*}) o de tres en tres (formando un triángulo); se recomienda hacer mediciones de tres puntos simultáneamente (no está por demás recordar que la mejor forma para chequeo es la triangulación), luego de tener instalados los equipos se procede a iniciar la sesión encendiendo los aparatos y esperando un tiempo prudencial (1 a 3 minutos) para obtener señal de los satélites disponibles y al aparecer el mensaje respectivo de que ya se tienen "enlazados" por lo menos 5 satélites, se inicia la grabación, ésta se inicia presionando dos teclas primero la tecla **log data** que lo lleva al menú para escoger el método de medición a emplear; para iniciar el **método estático** se presiona la tecla **quick start-now** y en este momento el receptor GPS empieza a

^{*} Ver el glosario.

grabar información. Para definir un punto de control es necesario un período de grabación o tiempo de medición de por lo menos una (1) hora. El receptor GPS cuenta con un cronómetro para registrar el tiempo de grabación, es importante tomar nota del **número de archivo y de la altura de instrumento** (para esto último cuenta con una cinta métrica incorporada), estos dos datos son importantes en el momento de procesar la información.

II) En base al tipo de proyecto y a la observación de campo se determina el número de puntos de control o de amarre que se necesitan, regularmente se escoge uno de dichos puntos como el punto de control base y al cual se enlazan o "amarran" los demás puntos de control, para ubicar el punto base se determina el lugar con las mejores condiciones del terreno, es decir un lugar despejado para evitar cualquier interferencia de señal y además que sea de fácil acceso.

III) En el presente caso es un levantamiento con una red de puntos de control local o "flotante", es decir no enlazada a la red geodésica nacional; si los requerimientos fueran de enlazarse a la red geodésica nacional el procedimiento extra y que antecediera a la red local sería el de realizar una triangulación tomando dos puntos de control de primer orden de la red geodésica nacional como base del tercero, siendo el tercero el punto base de la red local.

3.3.3.2) Método cinemático:

Es el método más versátil y empleado para obtener información con una muy buena precisión y en tiempo muy corto para cada punto. El concepto de un levantamiento en modalidad cinemática es el de tener un receptor GPS fijo (**base***) y otro receptor GPS en movimiento (**móvil***) recolectando información del área que interesa, para luego procesar la información recolectada y ofrecer un resultado. A continuación la descripción del método:

I) se define una **línea - base*** entre dos puntos por el método estático (remitase para mayor detalle a la parte que concierne al método estático), con ello se determinan

* Ver el glosario.

las coordenadas de estos dos puntos e indiferentemente se puede utilizar cualquiera de los dos como base en un levantamiento por el método cinemático.

II) Se inicia el método cinemático, con el siguiente procedimiento: se escoge uno de los dos puntos de la **línea - base**, se arma, centra y nivela uno de los receptores **GPS** para dejarlo como **base** y en el otro punto también se coloca un receptor GPS, el cual se arma con los componentes específicos de un receptor GPS que será utilizado como **móvil**, es decir, el receptor GPS dentro de una mochila especial y éste conectado por medio de un cable a la antena externa del tipo **compact dome** y ésta enroscada a un bastón extensible con nivel de búrbuja; para iniciar la sesión se encienden los receptores GPS, se espera un tiempo prudencial (1 a 3 minutos) para obtener señal de los satélites disponibles y al aparecer el mensaje respectivo de que ya se tienen **enlazados** por lo menos 5 satélites se inicia la grabación, ésta se inicia presionando dos teclas, primero la tecla **log data** que lo lleva al menú, para escoger el método de medición a emplear y segundo para iniciar el **método cinemático** se presiona la tecla **kinematic survey** y en este momento el aparato empieza a grabar información. El receptor GPS **base** se deja grabando e incluso puede quedarse solo, si la seguridad del lugar lo permite, tomando la precaución de revisar la carga de las baterías, ya que si las baterías tienen la carga total tienen un rendimiento en promedio de 7 horas de trabajo continuo, que dan margen a realizar alguna otra actividad que fuera necesaria en forma simultánea; es importante tomar nota del **número de archivo y de la altura de instrumento** (para esto último cuenta con una cinta métrica incorporada), estos dos datos son importantes en el momento de procesar la información. El receptor GPS que se utiliza como **móvil** al iniciar a grabar con el procedimiento enunciado con anterioridad, automáticamente queda en la modalidad **static**, que es la modalidad de grabación, el período de grabación para cada punto según los manuales es como mínimo 1 minuto con 30 segundos y un máximo de 2 minutos, para **épocas** de 3 segundos, al cumplirse el tiempo estipulado para grabación del primer punto se oprime la tecla **kinematic** y en esta modalidad ya se puede trasladar al siguiente punto; en este momento el receptor sigue manteniendo comunicación con la red de satélites pero no está grabando, si en el traslado hacia el

* Ver el glosario.

siguiente punto se perdiera señal (regularmente la pérdida de señal es provocada por obstáculos como árboles muy frondosos; la solución es tratar de bordear el o los obstáculos) el receptor GPS emite una alarma y aparece un mensaje en la pantalla de regresar a la estación anterior, al retomar a la estación se procede a centrar y nivelar la antena repitiendo el procedimiento de grabación y así sucesivamente hasta llegar a tomar el último punto de grabación, para cerrar la sesión en ambos receptores se oprime la tecla **end survey** y lo traslada al menú de información de altura de instrumento, tipo de antena, ingresados los datos necesarios son aceptados oprimiendo la tecla **accept** y se termina la sesión.

3.3.3.3) Aplicación en el proyecto:

Ésta es la descripción de la aplicación de los dos métodos antes expuestos en la medición del polígono.

l) Se Inició la medición definiendo la **línea - base**, ubicando los dos receptores **GPS** uno en la estación 1 y el otro en la estación 2, utilizando el método estático, cumplido el tiempo de grabación, se cerró la sesión. Los datos de campo son los siguientes:

para la estación 1:

No. de archivo : **3392-211-0**
Altura de instrumento: 1.480 mts. (dato de campo)
0.154 mts. + (corrección según el tipo de antena)
1.634 mts.

Tipo de antena: **MicroSE.**

para la estación 2:

No. de archivo : **3348-211-0**
Altura de instrumento: 2.50 mts. (dato de campo)
0.07 mts. + (corrección según el tipo de antena)
2.57 mts.

Tipo de antena: **Compact dome.**

II) Para iniciar la medición del polígono propiamente dicho, se abrió una nueva sesión utilizando el método cinemático, dejando un receptor GPS en la estación 1 como **base** y el otro receptor GPS en la estación 2 como **móvil**, el receptor GPS **base** se dejó tomando lecturas, mientras en el receptor GPS **móvil** al completarse las 30 **épocas**, que corresponden en tiempo a 1 minuto con 30 segundos, se cerró el período de grabación correspondiente a la estación 2, trasladándome a la estación 3 e iniciando un nuevo período de grabación y así sucesivamente siguiendo el mismo procedimiento para todas las estaciones hasta llegar a la estación 16 cerrando el polígono y con ello la sesión. Siendo los datos de campo los siguientes:

estación 1 = base:

número de archivo: **3392-211-1**
altura de instrumento: **1.480 mts. (dato de campo)**
0.154 mts. + (corrección por tipo de antena)
1.634 mts.

Tipo de antena: **MicroSE.**

de la estación 2 a la 16 = móvil :

número de archivo: **3348-211-1**
altura de instrumento: **2.50 mts. (dato de campo)**
0.07 mts. + (corrección por tipo de antena)
2.57 mts.

Tipo de antena: **compact dome.**

Además, se lleva una especie de libreta de campo para notas y sobre todo para referir cada período de grabación (al que el receptor **GPS** le designa un número secuencial) a cada estación del polígono o como en este caso a alguna toma de referencia o apoyo, que es el caso en la toma 0003 la cual fue una referencia ya que se había caminado aproximadamente 100 metros y se encontraron árboles frondosos,

* Ver el glosario.

antes de entrar bajo estos árboles se hizo la toma 0003, al no dar problema se continuó a la estación 3 que está identificada con el número de grabación 0004, si se hubiera perdido la señal bajo los árboles se hubiera regresado a la última grabación o sea a la 0003; otro ejemplo de la importancia de llevar una libreta de campo es lo que ocurrió en la estación 13, al llegar a dicha estación se indicó la posición de la estaca y se inició la grabación 0014, pero resultó ser un tronco cortado y al ubicar exactamente la estaca se inició un nuevo período de grabación, el 0015 que es el correspondiente a la estación 13.

3.3.4) Levantamiento utilizando topografía convencional:

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

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

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

V) Se centra y nivela el teodolito en la estación (E1), dando vuelta de campana al anteojo (anteojo invertido) , se visa la estación de atrás (E0) y se afina con el micrométrico del (m.g).

VI) Dar nuevamente vuelta de campana al anteojo (anteojo directo), soltar el I (m. az) visando la estación siguiente (E2), fijar m. az., se toma la lectura tanto horizontal como vertical y se anota nuevamente en la libreta.

VII) Se repite en cada estación siguiente, los pasos del inciso IV al inciso VI.

3.4) Resultados:

3.4.1) Personal empleado:

Brigada de topografía.

- 1 Topógrafo.
- 2 Cadeneros.

Brigada de GPS^{*}.

- 2 Técnicos.

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

3.4.2) Tiempos de trabajo de campo:

Tiempos de GPS :

Armado de los equipos:	0:07:35 horas
Medición de la línea - base [*] :	1:05:00 horas
Medición del polígono:	<u>1:41:10 horas +</u>
Total :	2:53:45 horas.

^{*} Ver el glosario.

El tiempo de grabación para cada estación se pre-estableció en base a los manuales que sugieren configurar el receptor GPS, para que en el método cinemático se grabe una posición cada 3 segundos y por un tiempo de 1 minuto con 30 segundos, es decir que se obtuvieron 30 posiciones por estación, el tiempo de medición del polígono también incluye el colocar la estaca con su marca (clavo)

Tiempos de topografía:

El tiempo total que ocupó la brigada de topografía fue de un día, es decir, una jornada 8 horas. El tiempo aprovechado o tiempo real fue de 4 horas con 48 minutos, dando como promedio por estación **18 minutos**, este tiempo incluye el colocar la estaca con su marca (clavo), el centrar y nivelar el teodolito, el tiempo de traslación de los cadeneros a las dos estaciones y las lecturas respectivas.

3.4.3) Precisiones logradas:

En base a la información de los anexos del 8 al 11, al manejo de los resultados y tomando como referencia las distancias, ángulos y datos obtenidos con el levantamiento GPS*, las precisiones alcanzadas fueron:

3.4.3.1) En relación a las distancias:

El **perímetro** del levantamiento topográfico o **sumatoria de distancias** (ver anexo No. 11) dió como resultado **2451.61 metros** y en relación a la **sumatoria de las diferencias absolutas** entre las distancias GPS contra las topográficas (ver anexo No. 8) que es de **2.381 metros**, la precisión lograda fue de:

$$2.381 \text{ m} / 2451.61 \text{ m} = 0.00097$$

o sea, por cada 100 metros se tuvo un error de **9.7 centímetros**.

* Ver el glosario.

3.4.3.2) En relación a los acimuts:

Tomando en base las diferencias entre GPS y topografía y el promedio de estas diferencias (ver el anexo No.9) da como resultado $0^{\circ} 1' 51''$

3.4.4) Tiempos en gabinete:

Para GPS :

I)	trasladar información de los receptores GPS a la computadora	0:19:45 horas
II)	procesar la línea - base	0:11:56 horas
III)	procesar el levantamiento	0:31:48 horas
IV)	dibujar	0:53:07 horas
V)	plotear	<u>0:06:41 horas +</u>
	Total :	2:00:17 horas.

Para topografía:

I)	cálculos necesarios para manejar la información de la libreta de campo	0:05:17 horas
II)	ingreso de datos y cálculos	0:03:41 horas
III)	dibujo a mano	<u>1:25:00 horas +</u>
		1:33:58 horas

3.4.5) Resumen de resultados:

	Tecnología GPS	Topografía
tiempo de campo	2: 53: 45 horas	4: 48: 00 horas
tiempo de gabinete	2: 00: 17 horas	1: 33: 58 horas
error unitario	$1.4 * 10^{-6}$	$1.18 * 10^{-4}$

error cierre en dist	0.003 metros	0.288 metros
área	324666.30 m ²	324630.00 m ²
perímetro	2451.78 mts.	2451.61 mts.

3.4.6) Análisis de resultados:

3.4.6.1) Personal:

Se utilizaron 2 técnicos para el levantamiento GPS y 1 topógrafo con 2 cadeneros, en el presente caso no se utilizó gente de apoyo, es decir chapeadores, que en una brigada de topografía serían alrededor de 4 personas, mientras que en la brigada GPS se puede prescindir de este personal o a lo sumo utilizar a 1 persona.

3.4.6.2) Tiempos:

Campo:

Hay una diferencia en contra del levantamiento topográfico de **1:54:15 horas**, sin contemplar por las condiciones propias del terreno (ver el inciso 3.3.2) el tiempo necesario para la limpieza, siendo esta actividad la que más influye en el rendimiento de los trabajos topográficos.

Gabinete:

Existe una diferencia en contra de la tecnología GPS^{*} de **0:26:19 horas**, la cual es debido al proceso mismo, del que no puede obviarse ningún paso que se sigue para manejar la información en la computadora. Se hace notar que el cálculo de las coordenadas e información del polígono para topografía, fueron trabajadas en un programa de computadora por lo que el rendimiento fue alto.

3.4.6.3) Error en distancia y perímetro:

En el levantamiento GPS^{*} se obtuvo un error de cierre de 0.003 metros mientras que con topografía convencional se obtuvo 0.288 metros, pero si se remite al

^{*} Ver el glosario.

anexo No. 8 sobre diferencias en distancias y se basa a la suma de las diferencias absolutas, se tiene **2.381 metros**, con lo cual se puede mostrar que el error en topografía convencional se minimiza y compensa en la medida que aparecen distancias mayores y menores a las reales; si se sigue analizando el anexo No.8 se tiene que la diferencia máxima es de **0.617 metros** entre la línea 16 - 1 con una distancia de **163.82 metros** y la mínima de **0.029 metros** entre la línea 8 - 9 con una distancia de **98.23 metros**, mientras que para la mayor distancia de **312.19 metros** en la línea 2 - 3 la diferencia fue **0.056 metros** y en la menor distancia de **45.74 metros** en la línea 5 - 6 la diferencia fue de **0.135 metros**, lo que muestra que las diferencias no mantienen ninguna proporcionalidad en relación a la distancia al comparar los dos métodos utilizados.

Al realizar los cálculos para el cierre del polígono, para el levantamiento con topografía convencional la distancia de la línea 2 - 3 al procesarla era de **319.78 metros**, por lo que hubo que rectificar la medida, aprovechándose para medir dicha distancia con cinta, lo que dió como resultado **312.25 metros**.

3.4.6.4) Diferencias angulares:

Como norte para el levantamiento topográfico se utilizó el **magnético** orientándose con brújula, mientras que el norte para el levantamiento **GPS*** es el **verdadero**, esto dió como resultado una diferencia promedio de **7° 29' 46.25"** y en relación a dicho promedio las diferencias oscilan entre un mínimo de **0° 0' 23.25"** y un máximo de **0° 6' 8.75"**.

3.4.6.5) Áreas:

El levantamiento con GPS obtuvo una área de **324666.30 m²** y el levantamiento con topografía convencional una área de **324630.00 m²**, dando una diferencia de **36.30 m²**, siendo esta diferencia el **1.11 %**.

* Ver el glosario.

CONCLUSIONES

1. La precisión alcanzada en el levantamiento de la poligonal cerrada con topografía convencional y con tecnología GPS fue **satisfactoria** bajo los parámetros de la Ley de Agrimensura, aunque al comparar el resultado obtenido de cada área con diferente tecnología, se obtuvo una diferencia de 36.30 m^2 , siendo mayor el área obtenida con GPS.
2. En la tecnología GPS se mantiene la precisión en cualquier tipo de terreno, mientras que en la topografía convencional dependiendo del tipo de terreno el margen de error se incrementa. Para levantamientos topográficos con GPS en condiciones de bosque denso, deben hacerse consideraciones especiales en el trabajo de campo, basados en una visita al lugar y con ello realizar una buena planificación utilizando el programa TRIMPLAN (ver el inciso 3.3.1) o cualquier otro programa de planificación.
3. El error inherente a la tecnología GPS es absoluto, mientras que el error en topografía convencional es relativo y acumulable y debe ser compensado para obtener un resultado aceptable
4. La medición de las distancias para topografía convencional fue realizada con el método taquimétrico, y al calcular los datos, el área y luego comparar contra los datos obtenidos con GPS la línea 2 - 3 en relación a la topografía midió 319.78 metros y con GPS 312.19 metros, es decir que la diferencia fue de 7.59 metros teniendo que verificarse y rectificarse, dicha rectificación se realizó con una cinta métrica metálica dando como resultado 312.25 metros comparando este último dato contra el de GPS la diferencia fue de 0.056 metros por lo cual se puede decir que fue un resultado excelente.
5. La medición de poligonales de todo tipo pueden ser realizadas con receptores GPS marca Trimble serie 4000SE ya que cumplen y sobrepasan las precisiones especificadas en la Ley de Agrimensura.

6. La tecnología GPS no ha llegado a sustituir a la topografía convencional en trabajos muy especializados, como por ejemplo la medición dentro de túneles, pero si puede ser complemento para la topografía convencional en algunos trabajos especializados, como el levantamiento de redes de control geodésicos.

7. El sistema ha comenzado a ser aceptado en Guatemala, a pesar de que el círculo de profesionales que ha tenido acceso es muy cerrado, tanto así que la institución relacionada directamente a catastro y mediciones de terrenos, que es el Instituto Nacional de Transformación Agraria (INTA), está equipándose con receptores GPS con precisiones acordes a sus necesidades.

RECOMENDACIONES

- 1) Obtener bibliografía referente al tema para contar con un mayor soporte en este campo, que sirva como consulta y para futuras investigaciones.
- 2) Que la Facultad de Ingeniería por medio del Departamento de Topografía adquiriera equipo GPS para que los estudiantes tengan a su disposición la más alta tecnología en posicionamiento y desde ya estén en contacto y aprendan las diferentes aplicaciones donde poder utilizar este sistema.
- 3) Revisar la Ley de Agrimensura en los incisos referentes a la precisión de los aparatos y tipo de los mismos, ya que como se puede concluir basado en este trabajo, algunos tipos de receptores GPS pueden ser una herramienta muy efectiva y rápida en los levantamientos o mediciones de poligonales cerradas.
- 4) Hacer los contactos necesarios con las diferentes personas particulares empresas e instituciones gubernamentales y no gubernamentales, que ya estén aplicando la tecnología GPS y realizar conferencias sobre sus diferentes experiencias y dar a conocer los diferentes tipos de receptores con los que se cuentan en el medio.

BIBLIOGRAFÍA

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

- HURN, Jeff, *Differential GPS Explained*, traducción al español, Mena J. U.S.A.: s.p.i. 1993. 55 pp.
- HOFMANN W., B. et.al. *Global Positioning System, Theory and Practice*, traducción al español, Mena J. 2a. edición. Austria: Adolf Holzhausens Nachfolger. 1993. 325 pp.
- HURN, Jeff, *GPS a Guide to the Next Utility*, traducción al español, Mena J. U.S.A.: s.p.i. 1989. 76 pp.
- MANSILLA, Edgar, *Topografía: principios básicos y planimetría*. Tesis Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. julio 1984. pp. 186-224
- TRIMBLE NAVIGATION, *4000SE Land Surveyor Operation Manual*. Traducción al español, Recinos V. U.S.A.: 2a. edición revisión B. s.l.i. s.p.i. marzo 1992. 255 pp.
- TRIMBLE NAVIGATION. *GPS Surveyor's Field Guide*, traducción al español, Mena J. U.S.A.: s.p.i. 1991. 45 pp.
- WELLS, David, *Guide to GPS Positioning*, traducción al español, Mena J. s.l.i. s.p.i. abril 1986.

ANEXOS



Satélites visibles contra el tiempo

Estación: **VILLA CANALES.**

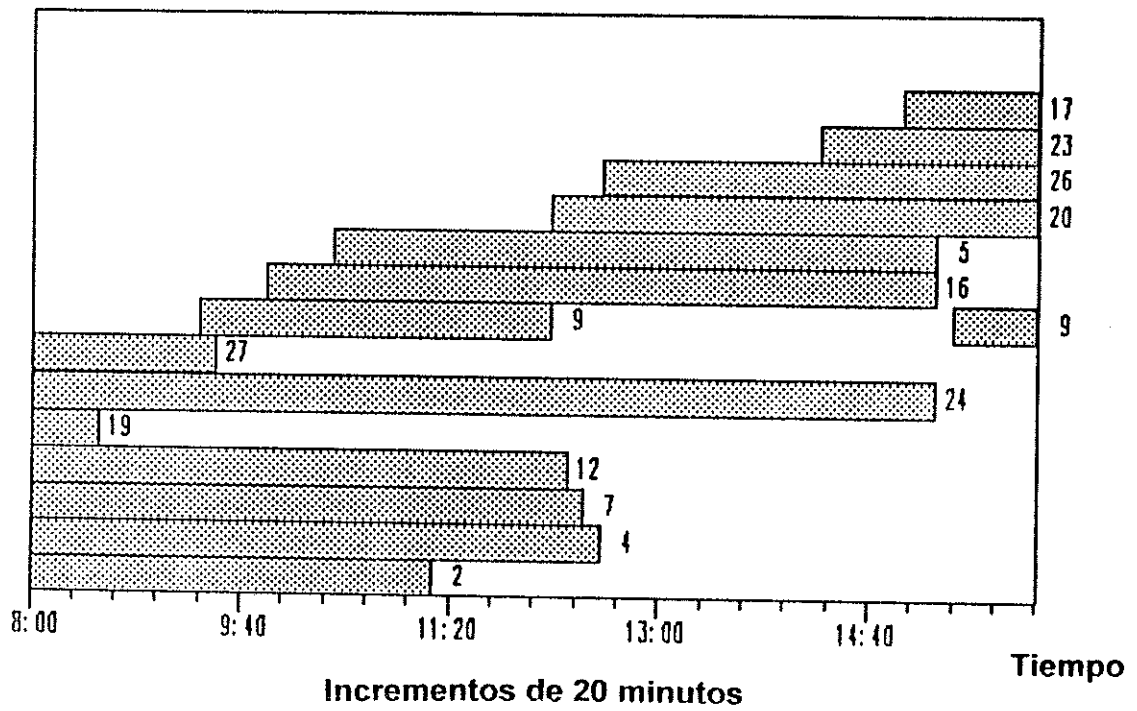
Latitud: **14°28'53" N**

Longitud: **90°32'00" W**

Día: **30 de julio de 1,995**

Zona horaria: **- 6 : 00**

Elevación mínima: **15 °**



Anexo No. 1



Número de Satélites visibles contra el tiempo

Estación: **VILLA CANALES.**

Latitud: **14°28'53" N**

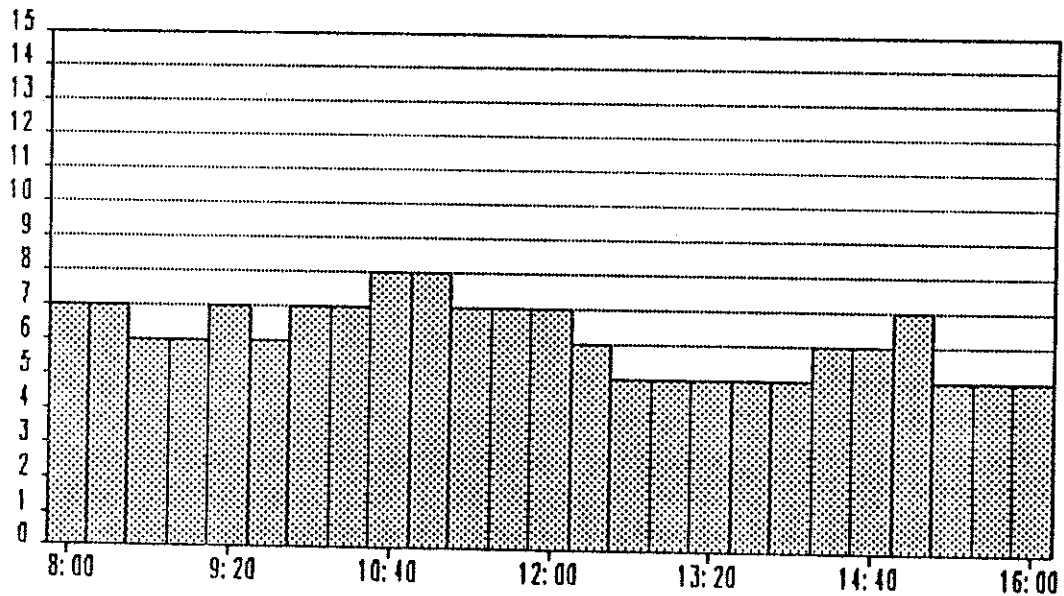
Longitud: **90°32'00" W**

Día: **30 de julio de 1,995**

Zona horaria: **- 6 : 00**

Elevación mínima: **15 °**

Número de satélites



Incrementos de 20 minutos

Tiempo

Anexo No. 2



Número de satélites y PDOP contra el tiempo

Estación: **VILLA CANALES.**

Latitud: **14°28'53" N**

Longitud: **90°32'00" W**

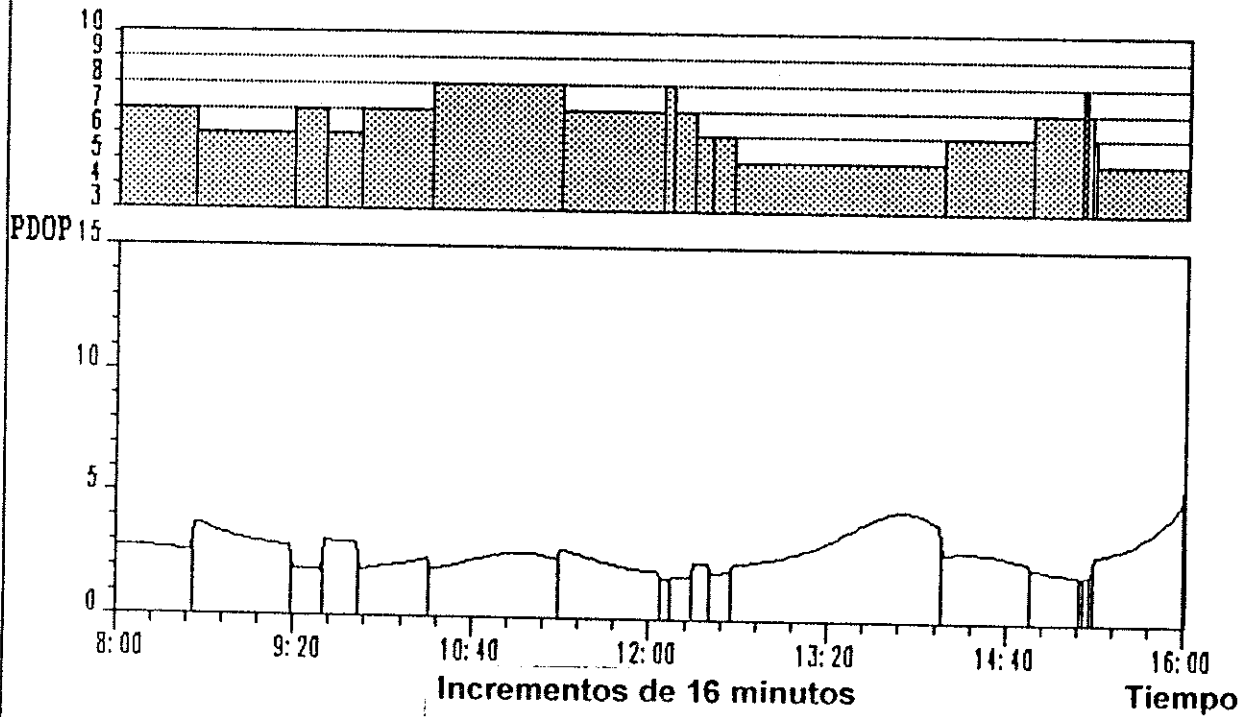
Día: **30 de julio de 1,995**

Zona horaria: **- 6 : 00**

Elevación mínima: **15 °**

Número de satélites

Receptor de 9 canales



Anexo No. 3

Número de Satélites Visibles y PDOP Contra el Tiempo

Día: 30 de Julio de 1995

Latitud: 14° 28' 53" N

Hora: 8:00 -> 16:00

Longitud: 90° 32' 00" W

Elevación Mínima: 15°

Zona Horaria: - 6:00

Cosntelación de Satélites	Tiempo de Inicio	Tiempo Final	Intervalo Tiempo	PDOP Inicio	PDOP Final
2 4 7 19 24 27	8:00	8:35	0:35	2.8	2.6
2 4 7 24 27	8:35	9:19	0:44	3.7	2.8
2 4 7 12 24 27	9:19	9:33	0:14	1.9	1.9
2 4 7 12 24	9:33	9:49	0:16	3.1	2.9
2 4 7 12 16 24	9:49	10:21	0:32	2.0	2.4
2 4 5 9 12 16 24	10:21	11:19	0:58	2.0	2.4
4 5 7 12 16 24	11:19	12:05	0:46	2.8	1.9
4 5 7 12 16 20 24	12:05	12:09	0:04	1.6	1.6
4 5 7 16 20 24	12:09	12:19	0:10	1.8	1.8
4 5 7 20 24	12:19	12:27	0:08	2.3	2.3
4 5 16 24 26	12:27	12:37	0:10	1.9	2.0
5 16 20 26	12:37	14:11	1:34	2.3	3.9
5 16 20 24 26	14:11	14:51	0:40	2.8	2.4
5 16 17 23 24 26	14:51	15:13	0:22	2.2	2.0
5 9 16 20 23 24 26	15:13	15:15	0:02	1.9	1.9
9 16 17 23 24 26	15:15	15:17	0:02	2.0	2.0
9 16 17 23 26	15:17	15:19	0:02	2.1	2.1
9 17 20 26	15:19	16:00	0:41	2.8	5.4



Acimut contra el tiempo

Estación: **VILLA CANALES.**

Latitud: **14°28'53" N**

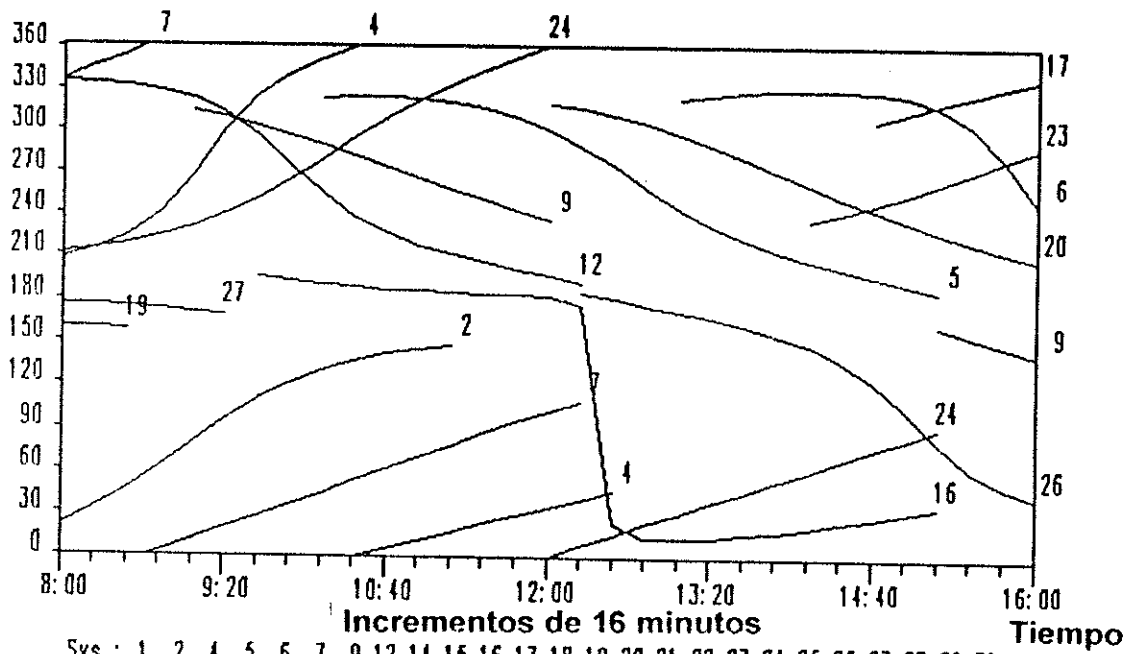
Longitud: **90°32'00" W**

Día: **30 de julio de 1,995**

Zona horaria: **- 6 : 00**

Elevación mínima: **15 °**

Acimut



Svs : 1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 31

Anexo No. 5



Elevación contra el tiempo

Estación: **VILLA CANALES.**

Latitud: **14°28'53" N**

Longitud: **90°32'00" W**

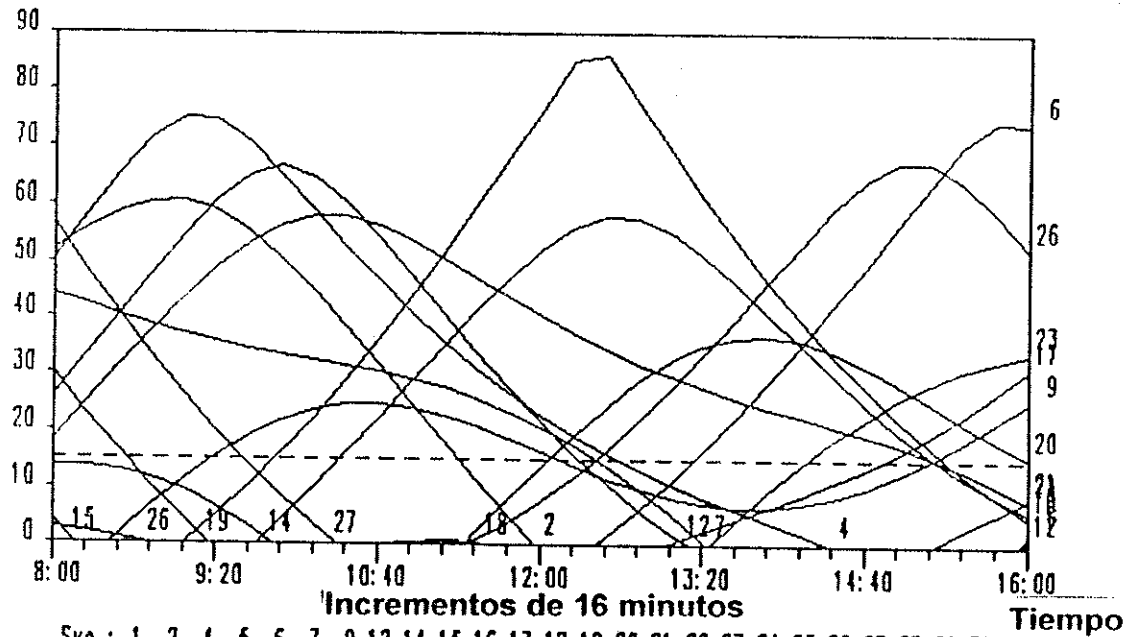
Día: **30 de julio de 1,995**

Zona horaria: **- 6 : 00**

Elevación mínima: **15 °**

-- Elevación mínima

Elevación



Svs : 1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 31

Anexo No. 6



Acimut contra elevación

Estación: **VILLA CANALES.**

Lalitud: **14°28'53" N**

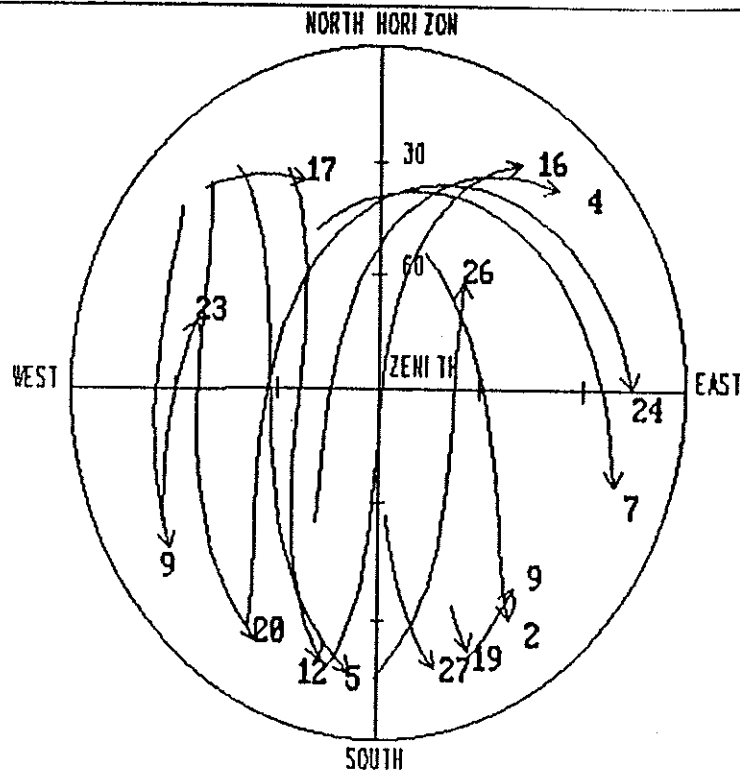
Longitud: **90°32'00" W**

Día: **30 de julio de 1,995**

Zona horaria: **- 6 : 00**

Elevación mínima: **15 °**

Tiempo 8:00
a
16:00



Anexo No. 7

proyecto: TESIS
MEDICIÓN DE UNA FRACCIÓN DE LA FINCA SANTA TERESA
DIFERENCIAS EN DISTANCIAS

DIFERENCIAS						
EST	PO	DIST-GPS	DIST-TOP	DIF. GPS-TOP	DIF ABS	
1	2	135.09	135.00	0.091	0.091	
2	3	312.19	312.25	-0.056	0.056	
3	4	154.46	154.40	0.059	0.059	
4	5	117.10	116.95	0.148	0.148	
5	6	45.74	45.60	0.135	0.135	
6	7	132.68	132.90	-0.218	0.218	
7	8	187.10	187.25	-0.153	0.153	
8	9	98.23	98.20	0.029	0.029	
9	10	147.16	147.20	-0.042	0.042	
10	11	140.77	140.68	0.087	0.087	
11	12	141.08	141.26	-0.178	0.178	
12	13	136.58	136.83	-0.248	0.248	
13	14	195.35	195.40	-0.055	0.055	
14	15	268.54	268.69	-0.155	0.155	
15	16	75.91	75.80	0.110	0.11	
16	1	163.82	163.20	0.617	0.617	
SUM =				0.171	2.381	
PROMEDIO =				0.149	mts	

NOTA:
todas las distancias estan en metros.

proyecto: TESIS
MEDICIÓN DE UNA FRACCIÓN DE LA FINCA SANTA TERESA
DIFERENCIAS ANGULARES

EST	ANG GPS (1)			ANG TOPO (2)			DIF GPS-TOPO (3)			DIF ENTRE LA DIF(3) Y EL PROM					
	PO	grad	min	seg	grad	min	seg	ANG	grad	min	seg	ANG	grad	min	seg
1	2	212	49	9	220	17	30	-7.47250	-7	28	21	0.02368	0	0	1
2	3	213	59	14	221	28	0	-7.47944	-7	28	46	0.01674	0	0	1
3	4	301	26	36	308	55	10	-7.47611	-7	28	34	0.02007	0	0	1
4	5	301	26	45	309	2	40	-7.59861	-7	35	55	-0.10243	0	-6	8.75
5	6	213	52	3	221	19	30	-7.45750	-7	27	27	0.03868	0	2	19.25
6	7	239	17	30	246	44	20	-7.44722	-7	26	50	0.04896	0	2	56.25
7	8	282	12	10	289	40	40	-7.47500	-7	28	30	0.02118	0	1	16.25
8	9	272	54	25	280	23	10	-7.47917	-7	28	45	0.01701	0	1	1.25
9	10	23	43	17	31	12	20	-7.48417	-7	29	3	0.01201	0	0	43.25
10	11	25	20	57	32	50	20	-7.48972	-7	29	23	0.00646	0	0	23.25
11	12	30	9	18	37	38	30	-7.48867	-7	29	12	0.00951	0	0	34.25
12	13	20	56	33	28	30	30	-7.56583	-7	33	57	-0.06965	0	-4	10.75
13	14	101	50	46	109	22	30	-7.52889	-7	31	44	-0.03271	0	-1	57.75
14	15	102	55	29	110	24	30	-7.48361	-7	29	1	0.01257	0	0	45.25
15	16	119	38	3	127	6	30	-7.47417	-7	28	27	0.02201	0	1	19.25
16	1	119	58	55	127	31	20	-7.54028	-7	32	25	-0.04410	0	-2	38.75
SUMATORIA												-119.939			
PROMEDIO												grad	min	seg	
-7.49618												=	-7	29	46.25

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 Biblioteca Central

proyecto: TESIS
 MEDICIÓN DE UNA FRACCIÓN DE LA FINCA SANTA TERESA
 UTILIZANDO TECNOLOGIA GPS.

EST	PO	DIST= D	AZMUTH	COORDENADAS PARCIALES				CORRECCIONES				COORDENADAS TOTALES				DOBLES AREAS						
				N	S	E	W	A	A	LONGITUD	LONGITUD	LONGITUD	LONGITUD	Y	X	DOE	DSM	LAT COM'DDM	LONG COMP'DCE			
1	2	135.09	212	49	9	-0.8404	-0.54199	0.000	73.218	-0.0028	-0.04E-05	-113.528	-73.218	-113.528	-73.218	0.000	8312.291	0.000	8312.291	0.000		
2	4	312.19	213	59	14	-0.8292	-0.55901	0.000	174.519	-0.0056	-0.00012	-258.859	-174.519	-372.387	-485.915	-320.954	83081.921	0.000	84801.374	0.000		
4	5	154.46	301	36	36	0.52166	-0.85316	0.000	131.778	0.00158	-3.07E-05	30.575	-131.778	-291.813	-664.200	-627.251	0.000	50540.432	0.000	87526.652	0.000	
5	6	117.10	301	38	43	0.52169	-0.85313	0.000	99.900	0.000143	-8.87E-05	51.089	-99.900	-230.723	-479.414	-322.536	-858.929	0.000	52471.322	0.000		
6	7	45.74	213	52	3	-0.8303	-0.55727	0.000	37.975	-8.9E-05	-1.75E-05	-37.975	-25.487	-268.698	-564.901	-499.422	-984.316	0.000	12728.720	0.000		
7	3	132.68	239	17	30	-0.5107	-0.85978	0.000	114.077	-0.00016	-7.85E-05	-67.756	-114.077	-336.455	-618.978	-605.153	-1123.890	0.000	69034.026	0.000		
8	9	197.10	292	12	10	0.21137	-0.97741	0.000	182.970	9.23E-05	-0.00026	39.547	-182.970	-296.907	-801.848	-633.362	-1420.826	0.000	58189.691	0.000		
9	10	98.23	272	54	25	0.05071	-0.98871	0.000	98.103	1.16E-05	-8.74E-05	4.982	-98.103	-291.926	-899.950	-588.833	-1701.798	0.000	8477.672	0.000		
10	11	147.16	25	43	17	0.91551	-0.40229	0.000	59.200	0.000314	4.07E-05	134.725	59.200	-157.201	-340.750	-449.128	-1740.701	0.000	234516.424	0.000		
11	12	140.77	25	20	57	0.90372	0.42813	0.000	60.267	0.000297	4.15E-05	127.214	60.267	-29.967	-790.453	-187.187	-1621.233	0.000	206242.965	0.000		
12	13	141.08	30	9	18	0.86467	0.50234	0.000	70.871	0.000285	4.88E-05	121.990	70.871	92.003	-709.612	62.016	-1490.095	0.000	181776.094	0.000		
13	14	136.58	20	56	33	0.93394	0.35743	0.000	48.819	0.000298	3.36E-05	127.560	48.819	219.562	-660.793	311.565	-1370.405	0.000	174608.364	0.000		
14	16	195.35	101	50	46	-0.2053	0.9787	0.000	40.101	191.195	0.000132	-40.101	191.185	179.461	-469.603	399.024	-1130.402	0.000	45330.306	0.000		
16	17	268.54	102	55	29	-0.2237	0.97466	0.000	60.963	261.732	0.00014	-60.063	261.732	-207.877	298.859	-677.485	40691.965	0.000	76287.232	0.000		
17	18	75.91	119	38	3	-0.4945	0.9692	0.000	37.534	65.981	0.00018	-37.534	65.981	81.864	-141.396	201.262	-349.772	13128.487	0.000	13279.448	0.000	
18	1	163.52	119	58	55	-0.4987	0.86618	0.000	31.364	141.895	0.00019	-31.364	141.895	0.000	31.864	-141.896	-11616.083	0.000	11616.083	0.000		
		2451.78							697.678	698.950	898.851	0.0033	0.0012	0.000	0.000	315690.36	965022.96	687202.213	37869.6038	0.000	549332.61	0.000

Cy = 0.0033 Cy = 2.3E-06
 Dx = 0.0012 Cx = 6.9E-07
 ERROR DE CIERRE EN DISTANCIA (E) = 0.003 metros
 ERROR UNITARIO (eu) = 1.4E-4
 ERROR PERMISIBLE POR LA LEY DE AGRIMENSURA (Eu) = 0.003
 COMPARACION: eu < Eu O.K.
 1.4E-4 < 0.003 O.K.

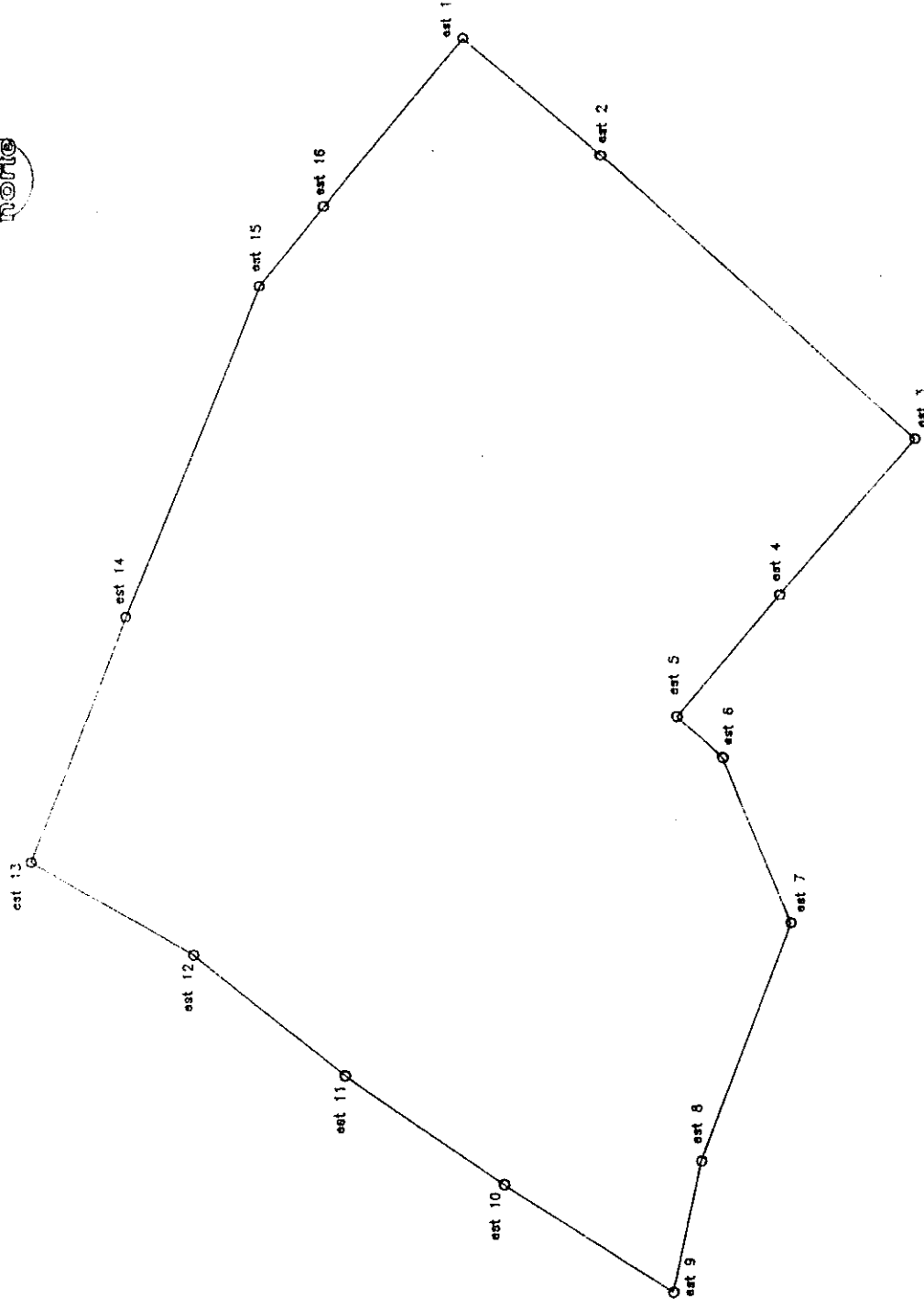
AREA = 324666.30 m² = 32 Ha
 32 Ha 0 Cab.
 46 Ar 46 MZ.
 66.30 m² 4646.18 vrs²

Anexo No. 10

NOTAS

est	po	dist	azimuth
1	2	135.02	220°17' 9.14"
2	3	312.02	221°27' 19.09"
3	4	154.42	308°54' 7.08"
4	5	116.79	309° 2' 10.40"
5	6	45.61	221° 19' 7.97"
6	7	132.81	248° 44' 5.25"
7	8	186.80	289° 40' 21.65"
8	9	98.20	280° 22' 59.06"
9	10	147.17	31° 12' 38.61"
10	11	40.58	32° 50' 38.07"
11	12	141.18	37° 28' 30.25"
12	13	136.58	28° 30' 47.74"
13	14	195.20	109° 22' 49.01"
14	15	268.80	110° 24' 48.84"
15	16	75.81	127° 8' 57.59"
16	1	163.01	127° 31' 47.75"

SIMBOLOGIA	
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
○	ESTACIONES TOPOGRÁFICAS
—	LÍNEA IMAGINARIA ENTRE ESTACIONES



Anexo No. 12

ROBLES STUBBS, A. RENE

EXECUTOR: TESIS

FUERA FUENTE TERRESTRE, VILLA CAVALERES, GUATEMALA.

DESCRIPCIÓN

LEVANTAMIENTO DE UNA PARCELA DE LA FINCA FUENTE TERRESTRE UTILIZANDO TOPOGRAFIA CONVENCIONAL.

RESUMEN

CALCULO Y PROCED. ROBLES STUBBS

FECHA: 1985

ESCA: 1:1000

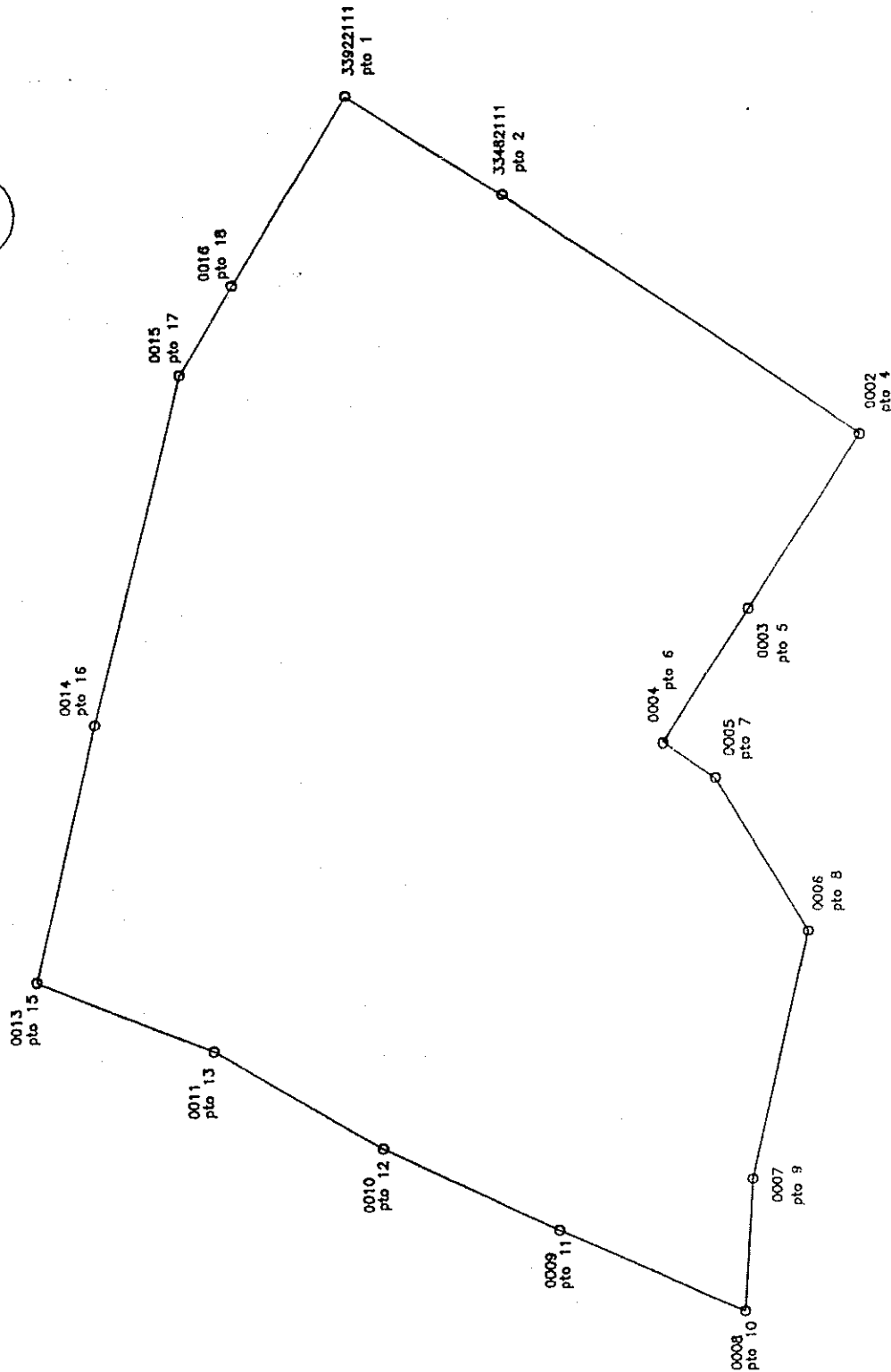
HOJA: 1 DE 2

NOTAS

1) Cada identificación de la estación representada arriba, el número del archivo de grabación, y en la parte de abajo el número del punto según el reporte que emite el TRIUMPLANT.

SIMBOLOGIA	
◯	ESTACIONES TOPOGRAFICAS
—	LINIA MAGNANSA ENTRE ESTACIONES

ROBLES STUBBS, A. RENE	
EXPOSICION:	TESIS
FIRMA SANTA TERESA, YILLA CAJALES, GUATEMALA.	
DESCRIPCION	
LEVANTAMIENTO DE UNA FINCA EN LA FIRMA SANTA TERESA	
UTILIZANDO TECNOLOGIA GPS	
REVISIONES	CALCULO Y PROCESO
FECHA:	ESC. EN ESCALA HOJA: 1 DE 2



Апехо No. 13