



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

**DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LAS REDES DE APOYO
CATASTRAL GEOREFERENCIADAS POR MEDIO DE TECNOLOGÍA DE MEDICIÓN SATELITAL**

José Manuel Divas Pensamiento

Asesorado por el Ing. Carlos Manuel Divas Paiz

Guatemala, agosto de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LAS REDES DE APOYO
CATASTRAL GEOREFERENCIADAS POR MEDIO DE TECNOLOGÍA DE MEDICIÓN SATELITAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JOSÉ MANUEL DIVAS PENSAMIENTO
ASESORADO POR EL ING. CARLOS MANUEL DIVAS PAIZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, AGOSTO DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Luis Estuardo Saravia Ramírez
EXAMINADOR	Ing. Juan Carlos Linares Cruz
EXAMINADOR	Ing. Armando Fuentes Roca
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LAS REDES DE APOYO
CATASTRAL GEOREFERENCIADAS POR MEDIO DE TECNOLOGÍA DE MEDICIÓN SATELITAL**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil,
con fecha septiembre de 2011.


José Manuel Divas Pensamiento

Guatemala, 7 de junio de 2012

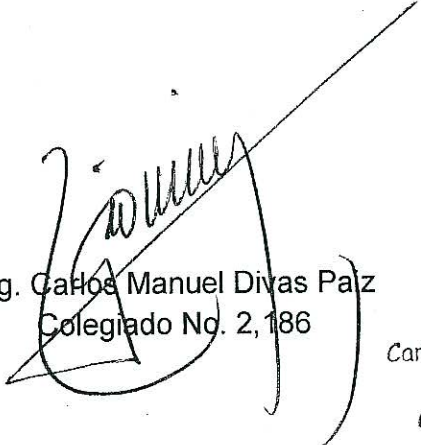
Ingeniero Mario Estuardo Arriola Ávila
Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería civil
Área de Topografía y Transportes
Coordinador

Ing. Arriola

Me dirijo a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación titulado **“DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LAS REDES DE APOYO CATASTRAL GEOREFERENCIADAS POR MEDIO DE TECNOLOGÍA DE MEDICIÓN SATELITAL”**, elaborado por el estudiante José Manuel Divas Pensamiento, quien contó con mi asesoría durante la elaboración de dicho trabajo.

Considerando que el trabajo desarrollado por el estudiante José Manuel Divas Pensamiento satisface los requisitos exigidos en el reglamento de graduación, recomiendo su aprobación.

Atentamente,


Ing. Carlos Manuel Divas Paiz
Colegiado No. 2,186

Carlos Manuel Divas Paiz
Ingeniero Civil
Colegiado No. 2,186



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



Guatemala,
6 de julio de 2012

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LAS REDES DE APOYO CATASTRAL GEOREFERENCIADAS POR MEDIO DE TECNOLOGÍA DE MEDICIÓN SATELITAL**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil José Manuel Divas Pensamiento, quien contó con la asesoría del Ing. Carlos Manuel Divas Paiz.

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

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila
Coordinador del Área de Topografía y Transportes



FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
TRANSPORTES
USAC

bbdeb.

Más de 130^{Años} de Trabajo Académico y Mejora Continua



PROGRAMA DE INGENIERÍA
CIVIL ACREDITADO POR
Agencia Centroamericana de
Acreditación de Programas de
Arquitectura e Ingeniería
PERÍODO 2009 - 2012



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Carlos Manuel Divas Paiz y del Coordinador del Área de Topografía y Transportes, Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila al trabajo de graduación del estudiante José Manuel Divas Pensamiento, titulado **DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LAS REDES DE APOYO CATASTRAL GEOREFERENCIADAS POR MEDIO DE TECNOLOGÍA DE MEDICIÓN SATELITAL**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro **Director**



Guatemala, agosto de 2012.

/bbdeb.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LAS REDES DE APOYO CATASTRAL GEOREFERENCIADAS POR MEDIO DE TECNOLOGÍA DE MEDICIÓN SATELITAL**, presentado por el estudiante universitario **José Manuel Divas Pensamiento**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 23 de agosto de 2012

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por guiarme en esta etapa de mi vida y permitir compartir este logro con mis seres queridos.
- Mis padres** Por su amor y apoyo incondicional, los sacrificios que han hecho, sus consejos y comprensión en cada instante de mi vida.
- Mi padrino** Por su apoyo, amor y amistad incondicional.
- Mis hermanos** Por apoyarme y demostrarme su amor incondicional.
- Familiares y amigos** Por su aprecio, amistad y apoyo mostrado en todo momento.

AGRADECIMIENTOS A:

- Guillermo José Ruano Solorzano** Por su amistad, valiosa asesoría, ayuda, orientación y consejos para la realización de este trabajo de graduación.
- Ing. Carlos Manuel Divas Paiz** Por su amor, asesoría, ayuda, y consejos para la realización de este trabajo de graduación.
- Mis compañeros de estudios** Por su colaboración y haber compartido una gran experiencia durante la carrera universitaria.
- Facultad de Ingeniería** Por haber brindado una preciada oportunidad para realizar mis estudios y obtener una distinguida formación profesional.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. MARCO HISTÓRICO	1
1.1. Generalidades sobre la medición con tecnología satelital.....	1
1.1.1. NAVSTAR GPS	4
1.1.2. GLONASS	7
1.1.3. GALILEO	8
1.1.4. BEIDOU.....	9
1.1.5. QZSS.....	10
1.1.6. IRNSS.....	10
1.2. Reseñas del Catastro nacional	10
1.2.1. Historia	11
1.2.2. Registro de Información Catastral (RIC).....	14
1.2.3. Catastro urbano	15
1.2.4. Catastro rural.....	15
1.3. Avances tecnológicos en los equipos de medición	16
2. APLICACIONES GEODÉSICAS DE MEDICIÓN SATELITAL	19
2.1. Redes geodésicas.....	19
2.2. Aplicaciones geodésicas	21
2.2.1. Construcción de una red geodésica nueva.....	22

2.2.2.	Ampliación de una red geodésica existente	23
3.	SISTEMAS DE REFERENCIA	25
3.1.	Generalidades	25
3.2.	Marcos de referencia y Datum	25
3.3.	Sistemas de marcos de referencia globales.....	27
3.3.1.	Datum WGS-84	28
3.3.2.	Proyección GTM.....	28
4.	POSICIONAMIENTO CON TÉCNICAS DE MEDICIÓN SATELITAL	31
4.1.	Generalidades	31
4.2.	Errores	32
4.2.1.	Efemérides	32
4.2.2.	Error de reloj.....	34
4.2.3.	Ionósfera	35
4.2.4.	Tropósfera	36
4.2.5.	Multicamino (Multipath)	39
4.2.6.	Receptor	40
4.2.7.	La disponibilidad Selectiva (SA)	42
4.2.8.	Efectos relativistas.....	42
4.3.	Precisión en el posicionamiento con técnicas de medición satelital	43
4.3.1.	UERE	43
4.3.2.	DOP.....	45
4.4.	Metodología de posicionamiento de una red de apoyo catastral	47
5.	SOFTWARE DE POSPROCESO Y AJUSTE DE REDES.....	53

6.	RESOLUCIÓN DE REDES GEODÉSICAS	55
6.1.	Generalidades	55
6.2.	Solución en el Datum WGS-84.....	57
6.3.	Solución en la Proyección GTM	59
6.4.	Procesamiento de datos.....	59
7.	EJEMPLO DE APLICACIÓN: DISEÑO DE UNA RAC2 EN EL MUNICIPIO DE SAN DIEGO, ZACAPA.....	63
	CONCLUSIONES	85
	RECOMENDACIONES	87
	BIBLIOGRAFÍA.....	89
	ANEXOS	91

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación de CORS en Guatemala.....	20
2.	Error de efemérides.....	33
3.	Densidad diurna de electrones en la Ionósfera	35
4.	Refracción ionosférica.....	36
5.	Efecto de la refracción troposférica.....	37
6.	Efecto multicamino	39
7.	DOP alto.....	47
8.	DOP bajo.....	47
9.	RAC1 en San Diego, Zacapa	64
10.	Diseño de RAC2 en San Diego, Zacapa	66
11.	Nomenclatura de RAC2 en San Diego, Zacapa	68
12.	Líneas base de RAC2 en San Diego, Zacapa.....	70
13.	Líneas de amarre entre RAC, San Diego, Zacapa	71
14.	Monumento RAC2.....	72
15.	Ficha de bronce	73
16.	Vista al norte	73
17.	Vista al norte con el monumento fundido	74
18.	Vista al este.....	74
19.	Vista al este con el monumento fundido.....	75
20.	Receptor colocado sobre el vértice	75
21.	Información de satélites sin depurar.....	76
22.	Información de satélites depurada	77

TABLAS

I.	Errores estándar, con Disponibilidad Selectiva (SA).....	44
II.	Errores estándar, sin Disponibilidad Selectiva (SA).....	45
III.	Lista de vectores de la RAC2 de San Diego, Zacapa	78
IV.	Coordenadas geográficas de la RAC2 de San Diego	83
V.	Coordenadas GTM de la RAC2 de San Diego.....	84

GLOSARIO

BEIDOU	Sistema de navegación por satélite desarrollado por la República Popular de China.
Catastro	Registro administrativo dependiente del estado, en el que se describen los bienes inmuebles.
COCODE	Comité Comunal de Desarrollo.
Datum	Marco de referencia que se utiliza para definir el tipo de coordenadas.
DICABI	Dirección General de Catastro y bienes Inmuebles.
DOP	Dilution Of Precition por sus siglas en inglés, en español significa dilución de la precisión, produce incertidumbre en la precisión del posicionamiento.
Efemérides	Error que se da cuando la posición transmitida por el satélite no coincide con la real.

Espacio Eulcideo	Espacio geométrico que comprende la recta y el espacio tridimensional.
Estación total	Es un aparato de tecnología eléctrica que se utiliza para la topografía, consiste en la incorporación de un distanciómetro y un procesador a un teodolito.
Geodesia	Ciencia que estudia la medida y la forma del globo terráqueo, acatándose a las necesidades.
Geoposicionamiento	Método mediante el cual se ubican las coordenadas de cada vértice de la red bajo estudio.
Georeferenciación	Conjunto de números que expresan la ubicación de un punto en el espacio euclídeo.
GLONASS	Sus siglas significan Global Navigation Satellite System, y es el sistema de navegación por satélite creado por la Unión Soviética.
GNSS	Es un sistema de navegación por satélite que incluye las constelaciones de satélites GPS y GLONASS.

GPS	Sus siglas en inglés significan Global Positional System fue creado por el estado de defensa de Estados Unidos de América.
GTM	Es la proyección cartográfica para la zona de Guatemala.
IRNSS	Sistema de navegación por satélite desarrollado por el gobierno de la India.
Líneas base	Líneas imaginarias que unen los vértices de la RAC formando triángulos.
Líneas de amarre	Líneas imaginarias que unen a una RAC de orden superior con una de orden inferior.
NAV	Grupo naval de astronáutica.
QZSS	Sistema de navegación por satélite propuesto por el gobierno de Japón.
RAC	Red de Apoyo catastral.
RIC	Registro de Información Catastral.
RINEX	Formato de texto que almacena de manera estandarizada la información proporcionada por los receptores.

SPUTNIK 1	Primer satélite artificial enviado al espacio. Fue enviado por la Unión Soviética.
TBC	Software para posproceso y ajuste de redes, su nombre son las siglas de Trimble Bussines Center.
Teodolito	Instrumento de medición que se utiliza para medir ángulos verticales y horizontales.
TPS	Sus siglas en inglés significan Transaction Processing System, se refiera a estaciones totales.
TRANSIT	Primer sistema de navegación por satélite.
UERE	Error equivalente en la distancia al usuario.
UTM	Sistema de coordenadas planas (X, Y), sus siglas significa Universal Transverse Mercator.
WGS-84	Sistema de coordenadas planas mundial con el cual se puede localizar cualquier punto.
Zonas horarias	Es cada uno de las 24 áreas en las que se divide el planeta.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación consiste en el desarrollo de una metodología de evaluación de las redes de apoyo catastral georeferenciadas por medio de tecnología satelital. Al principio de este trabajo se da a conocer una reseña histórica para observar cómo se ha ido avanzando en la tecnología en esta rama desde que la Unión Soviética envió el primer satélite artificial al espacio, llamado Sputnik 1.

Después de narrar la reseña histórica se da información acerca de las aplicaciones que puede tener la medición satelital en la geodesia, se continua mostrando cuáles son los sistemas de referencia que se utilizan al momento de realizar las mediciones así como también describiendo las técnicas existentes para realizar el posicionamiento de una red de apoyo catastral.

En los últimos capítulos de este trabajo de graduación se describe el software a utilizar para el posproceso y ajustes de redes, el cual se utiliza después de haber realizado el trabajo de campo y por medio de este software es que se logra darle la precisión requerida a las coordenadas de cada vértice de la red, y se finaliza mostrando un ejemplo de aplicación de una red de apoyo catastral de segundo orden en el municipio de San Diego del departamento de Zacapa.

OBJETIVOS

General

El presente trabajo tiene como objetivo general el desarrollo y propuesta de una metodología de evaluación de las redes de apoyo catastral, las cuales son georeferenciadas por medio de tecnología de medición satelital.

Específicos

1. Estudio de los distintos sistemas de referencia implicados en Geodesia así como la transformación entre los mismos, para su incorporación en el proceso de resolución de una red observada por medio de tecnología satelital.
2. Desarrollo de herramientas para la evaluación de la precisión en una red observada por medio de tecnología satelital, tanto desde el punto de vista de la precisión interna de las observaciones satelitales de partida, como de la precisión del marco de referencia en el que se encuadra el trabajo.
3. Desarrollo de una metodología para el levantamiento de redes de apoyo catastral en caso particulares, como es el caso de la resolución de puntos de apoyo levantados desde más de una estación.

4. Implementación y evaluación de una herramienta informática basada en programación orientada a objetos, con entorno gráfico de ventanas, que permita resolver el problema de ajuste de redes observada por medio de tecnología satelital, y que presente las siguientes características:
- Acceso a todas las fases del proceso de forma abierta y flexible.
 - Tratamiento de las precisiones de las observaciones de partida y de los parámetros estimados, tanto numérica como gráficamente.
 - Adaptación a diferentes sistemas de referencia.

INTRODUCCIÓN

Debido a que actualmente existen algunos municipios que han sido declarados en proceso catastral, por el Registro de Investigación Catastral -RIC- es necesario aplicar lo indicado en el Manual de normas técnicas y procedimientos catastrales elaborados por dicha institución, la cual es la rectora del Catastro Nacional, encargada de establecer, mantener y actualizar el catastro a nivel nacional. Esta tesis trata de apoyar en este estudio la precisión de los resultados que se obtienen a través de metodologías de medición satelital, analizando las redes de apoyo donde cualquier usuario pueda relacionar sus resultados de mediciones a sistemas conocidos que tendrá como resultado la ubicación exacta de los predios con sus coordenadas únicas.

Las redes de apoyo catastral es una actividad que propone la distribución geométrica de los diferentes vértices que servirán de apoyo a futuras mediciones, estas se dividen en tres rangos de acuerdo a su precisión y separación, siendo estas:

- RAC1, red de apoyo catastral de primer orden, estas son establecidas por el Registro de Información Catastral y están referenciadas a la red geodésica nacional teniendo una distancia entre sí de 7 a 15 kilómetros y con una precisión de 5 milímetros + 1 parte por millón o 1 milímetro por kilómetro de la longitud de línea base.

- RAC2, de apoyo catastral de segundo orden, son establecidas por el Registro de Información Catastral y referenciadas a partir de la RAC1, las mismas tendrán una distancia entre sí de 0,5 a 7 kilómetros y una precisión de 10 milímetros + 2 partes por millón o 1 milímetro por kilómetro de la longitud de línea base.
- RAC3, redes de apoyo catastral de tercer orden referenciado a partir de la RAC2 y utilizado específicamente para levantamientos de zonas urbanas. Sus precisiones y tolerancias están en relación a su longitud.

En los municipios declarados en proceso catastral, para realizar los levantamientos de los predios se inicia con el establecimiento de las redes de apoyo catastral, RAC 1, RAC2 y RAC 3, las cuales de acuerdo al normativo deberán cumplir con las condiciones que garanticen la correcta georeferenciación de los vértices, para lo cual se plantearan procedimientos apropiados que permitan resultados esperados de acuerdo al manual.

1. MARCO HISTÓRICO

1.1. Generalidades sobre la medición con tecnología satelital

La Geodesia es una de las ciencias más antiguas cultivadas por el hombre, con el objeto de estudiar y determinar la forma y dimensiones de la tierra, de su campo de gravedad y sus variaciones temporales, adaptándose a las necesidades de la época para aplicarse a problemas prácticos, como son básicamente la elaboración de mapas nacionales e internacionales, así como la preparación de instrumentos para aplicaciones específicas como las geológicas e hidrográficas, ente otras. Se puede afirmar que la geodesia se ha necesitado y seguirá siendo necesaria mientras se proyecten obras humanas que requieran determinar posiciones sobre la tierra con precisiones cada vez mayores.

El planeta, es representado por un elipsoide, el cual es la figura matemática que más se aproxima a su forma real. Debido a su forma, cuando se realizan medidas cubriendo áreas muy grandes, se deben utilizar métodos de corrección por errores que ocasionan la curvatura de la tierra. Por lo anterior es necesario explicar que la topografía considera su levantamiento en un área plana, mientras que la geodesia considera la curvatura existente en el globo terrestre.

En 1957, la Unión Soviética envió al espacio el primer satélite artificial llamado SPUTNIK I, el cual orbitaba a una distancia promedio de 576 kilómetros. Debido a que ya se tenía un satélite en órbita se comenzó a pensar que la posición de un observador podría ser establecida mediante el estudio de la señal transmitida por un satélite cuya órbita estuviera determinada con precisión.

La armada estadounidense rápidamente aplicó esta tecnología para promover los sistemas de navegación de sus flotas de observaciones de posiciones actualizadas y precisas con el objetivo de conseguir información precisa para el lanzamiento de misiles submarinos y para la navegación de los barcos, también la utilizó para estudios topográficos, geotécnicos e hidrográficos, y así fue como en 1964 nació el primer sistema de navegación por satélite llamado TRANSIT, también conocido como NAVSAT (Navy Navigation Satellite System, NNSS).

El sistema TRANSIT funciona por debido al efecto Doppler, el cual se basa en la medición del desplazamiento o corrimiento, que consiste en la variación aparente en el valor de la frecuencia en función de la velocidad de acercamiento o alejamiento de la fuente emisora. Este sistema transmite dos señales portadoras periódicamente cada dos minutos. Las incidencias de la órbita y correcciones del reloj se actualizan dos veces al día, con esta información se calcula la posición del satélite a lo largo del tiempo, lo cual es fundamental para encontrar objetos con precisión en la tierra. Este sistema hizo posible la corrección de los relojes en todo el mundo con una precisión de cincuenta microsegundos.

El sistema NNSS estuvo disponible para el público en general a partir de 1967, para 1992 ya tenía en órbita trece satélites, de los cuales 7 están en uso y el resto se mantiene en reserva. El seguimiento de estos satélites lo hace el NAV (grupo naval de astronáutica) que recibe datos orbitales por las observaciones de cuatro estaciones de control. Este sistema fue pionero en mucho de sus características y permitió una nueva y más precisa determinación de la forma de la tierra.

A partir de la creación del sistema *Transit*, el mundo de la navegación satelital empezó a dar un salto increíble, ya que empezaron a surgir nuevos sistemas, cada uno mejorando al anterior. Hoy en día el sistema de navegación por satélite más completo que se tiene es el Sistema Global de Navegación por satélite, conocido por sus siglas en inglés como GNSS, este es un sistema que transmite rangos de señales utilizados para el posicionamiento y localización en cualquier parte del globo terrestre, ya sea aire, mar o tierra.

El origen principal del sistema GNSS fue para el uso militar, ya que la navegación por satélite permite alcanzar una precisión que no se había conseguido hasta este momento, otra de las aplicaciones de este sistema es para la navegación aérea debido a su gran exactitud tanto en aire como en tierra permite controlar con fidelidad los miles de vuelos diarios y de esa manera evitar accidentes. El sistema GNSS ofrece aplicaciones civiles como lo son las ayudas a la navegación y orientación en dispositivos de mano, sistemas de localización para emergencias, geomática, seguimiento de los dispositivos usados en la fauna, entre otros.

El sistema GNSS no es más que la unión de los dos más grandes sistemas de navegación por satélite hasta la fecha los cuales son el Sistema de Posicionamiento Global, conocido por sus siglas en inglés como GPS y el

Sistema Orbital Mundial de Navegación por Satélite, conocido por sus siglas en inglés como *Glonass*. Esta unión se realizó con el objetivo de obtener mayor precisión, ya que mientras más satélites se obtengan en un mismo sistema ese será más exacto lo cual dará una menor diferencia entre la posición estimada y la real, también tendrá mayor integridad lo cual da confianza sobre la información proporcionada, tendrá mejor continuidad por lo que se obtendrá funcionamiento sin interrupciones y el sistema tendrá mejor disponibilidad.

Con el objetivo de mejorar el sistema GNSS se tiene programado la adición del sistema de navegación por satélite desarrollado por la Unión Europea llamado Galileo. Otros sistemas de navegación satelital que podrían ser adoptados como parte del GNSS en un futuro y que se encuentran en una etapa de desarrollo son el *Beidou* de la República Popular de China, el *Quasi-Zenith Satellite System*, conocido por sus siglas como QZSS que está siendo elaborado por Japón y el *Indian Regional Navigation Satellite System*, conocido por sus siglas como IRNSS el cual está siendo elaborado por la India.

La visión del Sistema Global de Navegación por Satélite, GNSS, es que en un futuro no muy lejano todos los sistemas ya existentes formen una sola constelación de satélites y se apoyen mutuamente para obtener una mayor eficacia tanto en precisión como en tiempo.

1.1.1. NAVSTAR GPS

Luego de haber lanzado los satélites del sistema de navegación Transit, en 1973 se combinaron los programas de la Armada y de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos para planificar el mejoramiento del sistema Transit en un nuevo Sistema el cual posteriormente sería llamado NAVSTAR GPS. Entre 1978 y 1985 se desarrollaron y lanzaron once satélites prototipo NAVSTAR, a

los cuales siguieron otras generaciones de satélites, hasta complementar la constelación actual a la que se declaró con capacidad operacional total en abril de 1995.

El Sistema de Posicionamiento Global o en inglés Global Positioning System conocido como NAVSTAR GPS es un sistema global de navegación por satélite (GNSS) que permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto, una persona o un vehículo con una precisión de hasta centímetros. EL sistema fue desarrollado, instalado y actualmente operado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos.

El GPS funciona mediante una red de 24 satélites en órbita sobre el globo terráqueo, a una distancia de 20 200 kilómetros, con trayectorias sincronizadas con el objetivo de cubrir toda la superficie de la tierra. Los 24 satélites están repartidos en 6 planos orbitales de 4 satélites cada uno. La energía eléctrica que requieren los satélites para su funcionamiento la obtienen por medio de dos paneles solares que tienen en los costados.

La manera en que funciona el sistema GPS es la siguiente: cuando se desea determinar la posición de un objeto en la tierra, el receptor localiza automáticamente como mínimo tres satélites de la red, de los que recibe unas señales indicando la identificación y la hora del reloj de cada uno de ellos. Con base en estas señales, el aparato sincroniza el reloj del GPS y calcula el tiempo que tardan en llegar las señales al equipo, y de tal modo mide la distancia al satélite mediante una intersección espacial la cual se basa en determinar la distancia de cada satélite respecto al punto de medición. Conocidas las distancias, se determina fácilmente la propia posición relativa con respecto a los tres satélites.

Conociendo las coordenadas o posición exacta de cada uno de los satélites utilizados por la señal que emiten, se obtiene la posición absoluta o coordenada real del punto en medición. También se consigue una exactitud en el reloj del GPS, similar a la de los relojes atómicos que llevan dentro cada uno de los satélites.

Es necesario utilizar 3 satélites para poder obtener la posición en 3D, sin embargo al utilizar tres satélites no se obtienen datos tan certeros ya que no hay sincronización entre el reloj del GPS y el de los satélites, problema que se resuelve al obtener información de 4 satélites y es entonces cuando se puede determinar una posición 3D exacta (latitud, longitud y altitud).

La posición en la que se encuentran los satélites se controla desde las estaciones terrestres que envían información de control a los satélites para definir las órbitas y realizar el mantenimiento de todas las constelaciones.

En resumen las especificaciones del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) son las siguientes:

- Satélites en la constelación: 24 unidades
- Planos orbitales: 6
- Satélites por plano orbital: 4 unidades
- Distancia de la tierra: 20 200 kilómetros
- Período: 11 h 58 min
- Inclinação: 55 grados (respecto al ecuador terrestre)
- Vida útil: 7,5 años
- Cobertura: Mundial
- Trabaja por medio de radio frecuencia

1.1.2. GLONASS

La contrapartida rusa al sistema GPS lleva el nombre de Global Navigation Satellite System, conocido mejor como GLONASS, el cual fue desarrollado por la Unión Soviética siendo hoy administrado por la Federación Rusa. GLONASS consta de una constelación de 24 satélites de los cuales 21 están activos y 3 son de repuesto, estos satélites están situados en tres planos orbitales con 8 satélites cada uno. Esta constelación de satélites se mueve en órbita alrededor de la tierra con una altitud de 19 100 kilómetros y está a cargo del Ministerio de Defensa de la Federación Rusa.

Los primeros tres satélites de la constelación GLONASS fueron colocados en órbita en 1982, sin embargo la constelación fue finalizada y funcional hasta finales de 1995. Debido a los problemas financieros que sufría Rusia en los años 90 solamente tenían funcionando 8 satélites y fue hasta el 2007 que se tuvieron los 21 satélites funcionando y se eliminaron todas las restricciones, permitiendo así el uso comercial ilimitado.

La llegada de GLONASS subraya la necesidad de que en el futuro GNSS adopte un sistema de referencia común, ya que GPS y GLONASS usan diferentes sistemas de referencia tanto de tiempo como de espacio, lo cual no imposibilita el uso de los 48 satélites que componen las dos constelaciones pero si lo complica. Es importante aclarar que GLONASS no es dependiente de GPS ni viceversa, pero es necesario que los dos sistemas sigan las recomendaciones internacionales de tiempo y espacio debido a la creciente importancia de las aplicaciones civiles.

En resumen las especificaciones de GLONASS son las siguientes:

- Satélites en la constelación: 24 unidades
- Planos orbitales: 3
- Satélites por plano orbital: 8 unidades
- Distancia de la tierra: 19 100 kilómetros
- Período: 11 h 15 min
- Inclínación: 64,8 grados (respecto al ecuador terrestre)
- Vida útil: 4 años
- Cobertura: Mundial
- Trabaja por medio de radio frecuencia

1.1.3. Galileo

Galileo es un sistema de navegación por satélite desarrollado por la Unión Europea con el objetivo de evitar la dependencia de los sistemas GPS y GLONASS. Al contrario de estos dos sistemas Galileo será de uso civil, y se espera que esté funcionando en el 2014.

El sistema GALILEO ha sufrido una serie de reveses técnicos y políticos para su puesta en marcha ya que Estados Unidos se había opuesto desde el primer momento al proyecto de la Unión Europea a favor del sistema GPS argumentando que supondría serios retos y problemas a la OTAN. Finalmente estadounidenses y europeos llegaron a un acuerdo.

Los satélites de la constelación Galileo estarán en orbitas ligeramente más inclinadas con respecto a las constelaciones de satélites GPS y Glonass, esto será con el objetivo de que los datos que se obtengan sean más certeros en las regiones cercanas a los polos donde los satélites estadounidenses y

rusos pierden notablemente su precisión, así mismo, Galileo realizará una importante contribución a la reducción de problemas tales como la interferencia, fallos de los satélites y denegación o degradación de la señal al proveer en forma independiente la transmisión de señales suplementarias de radionavegación en diferentes bandas de frecuencia.

1.1.4. BEIDOU

BEIDOU es un sistema de navegación por satélite desarrollado por la República Popular de China, Beidou es el nombre chino para la constelación de la Osa Mayor. Este sistema ofrecerá dos tipos de servicios, uno será abierto a todo el público y otro será autorizado solamente para determinados clientes y ofrecerá servicios más precisos y con mayores medidas de seguridad. BEIDOU en la actualidad cuenta con 8 satélites en órbita y se espera que para el 2020 cuente con 30 satélites operando. China está asociando con el proyecto Galileo.

A diferencia de los sistemas GPS, Glonass y Galileo, que usan satélites en órbitas bajas y ofrecen servicio global, Beidou utiliza satélites en órbita geoestacionaria, lo cual significa que sus satélites están directamente encima del ecuador terrestre por lo que desde la tierra los satélites parecerán inmóviles en el cielo. Esto implica que el sistema no requerirá de una gran constelación de satélites pero su cobertura sobre la tierra será limitada y que los satélites deberán de realizar maniobras para mantenerse en su posición geoestacionaria.

1.1.5. QZSS

QZSS son las siglas de Quasi-Zenith Satellite System o Sistema Satelital Quasi-Zenith, este es un sistema de navegación global por satélite propuesto por Japón para uso complementario del sistema GPS.

En el 2002 el gobierno japonés autorizó desarrollar el proyecto QZSS, sin embargo la revisión de la interfaz y el comienzo de la fabricación de los satélites se inició en el 2007. Este sistema contará con tres satélites situados en órbitas elípticas y se tiene previsto que sea compatible con GALILEO y con GPS.

1.1.6. IRNSS

IRNSS es un sistema de navegación por satélite desarrollado por el gobierno de la India, el motivo de su creación es porque el acceso al sistema GPS no es garantizado en situaciones hostiles. IRNSS tendrá una constelación de siete satélites, tres de ellos estarán en una órbita geostacionaria al igual que el sistema BEIDOU.

1.2. Reseñas del Catastro nacional

En cumplimiento al Decreto 41-2005 se ejecuta una serie de actividades técnicas, administrativas y legales con el propósito de establecer, mantener y actualizar el catastro a nivel nacional.

1.2.1. Historia

A lo largo de su historia la tierra ha sido el factor fundamental en el proceso de acumulación de la riqueza y de ejercicio del poder en el territorio que actualmente corresponde a Guatemala.

Estudios antropológicos referentes a las sociedades prehispánicas muestran que no existía la propiedad privada de la tierra como se conoce hoy en día, ni la tierra era aún una mercancía que pudiera comprarse y venderse.

Lo que sí existía eran derechos de dominio territorial, ejercido por los poderosos gobernantes y la nobleza terrateniente; y derechos de usufructo, que tenían los campesinos dentro de los Estados que habitaban. Los territorios de estos Estados estaban muy bien delimitados. Las tierras estaban ocupadas por los ajawab y los altos miembros de la clase dominante que tenían esclavos y arrendatarios pobres que las cultivaban y por campesinos con status de vasallos que las trabajaban por su cuenta y pagaban tributo.

La tierra propiamente de cultivo era relativamente escasa y muy codiciada, debido a que lo primitivo de los instrumentos de trabajo dificultaba el desmonte de terrenos fértiles y aptos para la agricultura.

Con la conquista, la estructura de la tenencia de la tierra cambia por completo. El funcionamiento del sistema colonial descansó sobre las relaciones de poder entre los colonizadores, la corona española y la población originaria. La escasez de recursos mineros en los territorios de América central llevo a los colonizadores a identificar y ubicar otras fuentes alternativas para su enriquecimiento personal y para vincularse comercialmente con la metrópoli. Por ello, la tierra y el control sobre la fuerza de trabajo se constituyeron en el

eje central sobre el que se organizó el sistema colonial localmente. En ese marco, se articularon una serie de mecanismos que buscaban satisfacer las necesidades de los colonizadores y de la corona española.

En 1542 fueron promulgadas las Leyes Nuevas. Este conjunto de principios jurídico-políticos tenía como propósito fundamental introducir una fuerte coherencia en términos del proceso de consolidación del régimen colonial español en tierras americanas.

Al principio de la humanidad, no existía la propiedad privada de la tierra como se conoce hoy en día, lo que si existía eran derechos de dominio territorial, ejercido por la nobleza terrateniente. Con la conquista, la estructura de la tenencia de la tierra cambio por completo ya que en 1542 fueron publicadas las Leyes Nuevas las cuales les daban poder y tierras a los colonizadores y fue desde entonces que se empezó a tener un control y a realizarse series de compra-venta de las tierras.

Al notarse que era necesario llevar un mejor control sobre los terrenos en Guatemala, se crearon carreras técnicas de agrimensura y topografía a principios del siglo XX, las cuales se regían por reglamentos que culminarían con la publicación de la Ley de Agrimensura emitida por Jorge Ubico en 1936.

Entre 1968 y 1978 ocurrió la primera manifestación formal de establecimiento de Catastro en Guatemala, cuando el Instituto Geográfico Nacional dependiente del Ministerio de Comunicaciones y Obras Públicas, comenzó a trabajar en una gran área. El estudio cubrió toda la costa sur de la frontera con El Salvador a la frontera con la república mexicana, formando una faja con un ancho aproximado de 100 kilómetros (aproximadamente 33 000 kilómetros cuadrados). En este sector se le dio prioridad al área rural, sin

embargo no fue descuidada el área urbana puesto que se desarrollaron importantes estudios catastrales en Escuintla, Mazatenango y Retalhuleu.

A pesar de los esfuerzos, la experiencia fracasó por falta de cultura catastral, dejando sin embargo grandes lineamientos técnicos.

En 1978 se creó la Dirección General de Catastros y Avalúos de Bienes Inmuebles (DICABI) la cual tenía a su cargo las funciones de elaborar y mantener un registro fiscal de los bienes inmuebles de la república, así como planificar, organizar y controlar la ejecución de los planes de trabajo en relación con el levantamiento catastral.

El catastro logra su primera cita con la historia con la firma de los acuerdos de paz en 1996, los cuales hacen mención sobre la necesidad urgente de poner en marcha la institucionalidad catastral, fue después de esto que en abril de 1997, quedó constituida la Comisión Institucional para el Desarrollo y Fortalecimiento de la Propiedad de la tierra (PROTIERRA), contando con la Unidad Técnica Jurídica (UTJ), como su brazo derecho la cual tuvo asignada la responsabilidad de estructurar y poner en marcha el Programa Nacional de Registro y Catastro, en sus aspectos conceptuales Administrativos, legales, técnicos y financieros.

El catastro es un registro administrativo dependiente del estado, en el que se describen los bienes inmuebles y sus propietarios, es un censo estadístico de las fincas rústicas y urbanas. Durante el gobierno revolucionario de Jacobo Arbenz se implementó una reforma agraria la cual careció de una base cartográfica catastral que pudiese servir de soporte a la identificación de la situación jurídica de los inmuebles. Esa ausencia de catastro alentó la

apropiación de tierras por parte de sectores pudientes de la población, situación que derivó en varios actos de violencia.

1.2.2. Registro de Información Catastral (RIC)

En el 2005 mediante el Decreto 41-2005 nace a la luz pública el Registro de Información Catastral (RIC) cuya naturaleza es la autoridad competente en materia catastral que tiene por objeto establecer, mantener y actualizar el catastro nacional.

El Registro de Información Catastral, RIC, tiene las funciones de coordinación, dirección, análisis catastral y jurídico. El RIC ayuda al proceso de dar una certeza jurídica de los terrenos en Guatemala haciendo un inventario para la obtención y mantenimiento de la información territorial y legal representada en forma gráfica y descriptiva.

La ley del RIC tiene como objetivo principal el establecimiento de un catastro de tipo jurídico que garantice la seguridad de la tenencia de las tierras. Para la elaboración de un catastro de esta magnitud se requiere de un proceso muy detallado y minucioso, haciendo una confrontación entre la realidad jurídica de la propiedad expuesta en el Registro General de la Propiedad y la tenencia real levantada en campo.

En el 2008 el RIC, publicó el Manual de Normas Técnicas y Procedimientos Catastrales del RIC con el objetivo de facilitar a los usuarios la realización del catastro para llegar a conocer la realidad de la tenencia y uso de la tierra y la posibilidad de realizar una adecuada planificación territorial, este Manual sirve como guía para todas las actividades catastrales a desarrollar en los municipios declarados en proceso catastral.

1.2.3. Catastro urbano

Según las normas catastrales, las diferencias que existen entre urbano y rural están las tolerancias de error permitidas, siendo en los catastros urbanos más exigentes que en los catastros rurales. En todo el país, la ley del RIC tiene una aplicación general en ambos territorios siempre y cuando el municipio haya sido declarado en proceso catastral. Sin embargo, los catastros municipales urbanos desarrollados en los últimos años para fines fiscales tienen una lógica propia.

Un municipio declarado en proceso catastral tiene tres etapas: la primera es cuando ha sido declarado en proceso catastral, pero no se ha medido ningún predio; la segunda es cuando después de haber declarado en proceso catastral ya se ha realizado medición de predios pero no se ha declarado área catastrada y la tercera es cuando se ha cumplido los anteriores y se ha declarado área catastrada. A partir de la segunda fase, cuando ya se han medido predios, se establece para cada un predio un código, para facilidad de localización, el cual está definido por once dígitos de la siguiente manera: DD (Departamento) MM (Municipio), PP (polígono) y TTTT (Número de predio).

1.2.4. Catastro rural

Está orientado al inventario y diagnóstico de la situación física, jurídica y económica de las unidades inmobiliarias rústicas, de las cuales, para su optimización, se necesita conocer sus características y dimensiones.

La ausencia histórica de catastro en el país explica en parte el problema que se tiene con respecto a las ubicaciones de las fincas, se estima que un alto porcentaje del territorio guatemalteco se encuentra con confusión de títulos y

superposición de límites, lo cual genera violencia y confusión entre vecinos, por lo que es necesario identificar este territorio mediante el catastro.

La llegada de la ley del RIC abre nuevos horizontes para el catastro rural. Como instrumento de la política de la tierra, el catastro tiene un papel importante en el hecho de dar una imagen objetiva de las dinámicas agrarias que operan en el país. Esta ley marca el primer paso hacia la resolución de conflictos sobre la tierra en el ámbito rural y en la clarificación de los derechos de propiedad que permiten el desarrollo económico de la agricultura campesina del país.

1.3. Avances tecnológicos en los equipos de medición

La actividad de topografía crece día a día, impulsada por la fuerza de los cambios tecnológicos. La innovación de los equipos de medición en Guatemala se incrementó después de que se firmaran los acuerdos de paz en 1996 ya que en estos se estableció que el sistema de registro y catastro tendría que ser eficiente y de actualización fácil, lo cual se facilita con la utilización de la tecnología moderna.

Con los avances de la tecnología han cambiando considerablemente los tiempos, las precisiones y las metodologías de trabajo, ya que en los comienzos de la década de los 70, si se deseaba realizar la medición de un terreno, el único equipo que había disponible era el teodolito y muy pocas personas contaban con distanciómetro electrónicos. Veinte años después, en la década de los 90, para realizar mediciones se podía contar con estaciones totales (TPS), la cual nos proporciona precisión y ahorro de tiempo.

En la actualidad ya se cuenta con equipos más modernos que sin excluir ninguno de los que se utilizaban anteriormente es posible realizar mediciones con técnicas de posicionamiento global, ya sea GPS, GLONASS o GNSS, reduciendo aún más el tiempo en que se realizan los trabajos y mejorando las precisiones de los mismos.

Los satélites transmiten los datos en dos frecuencias que se conocen como L1 y L2. Recuerde que nosotros dijimos que la velocidad de la señal GPS es cerca, pero no igual a, la velocidad de la luz. Esto es porque la velocidad y el trayecto de la señal son afectados por la atmósfera de la tierra. La ionosfera es especialmente problemática porque su composición puede cambiar rápidamente, qué a su vez afecta la cantidad de error que contribuye a las mediciones de rango. Sin embargo, el efecto de la ionosfera es diferente para las diferentes frecuencias.

Poniendo en correlación el efecto de la ionosfera en la frecuencia L1 y la frecuencia L2, nosotros podemos eliminar los errores de la ionosfera matemáticamente en sólo unos minutos. Éste es una de las ventajas de usar un receptor de frecuencia dual; es decir, un receptor que puede rastrear L1 y L2.

Los receptores de una sola frecuencia también pueden resolver los errores provocados por la ionosfera en tiempo real, pero en algunos casos les toma mucho más tiempo para hacerlo. La capacidad de frecuencia dual es el requisito básico para lograr tiempos de ocupación corta, pero con el número de satélites ahora disponible, y con los receptores mejorados y mejores algoritmos de proceso, los tiempos de ocupación han sido también reducidos para la mayoría de los receptores de una frecuencia usados en topografía.

Las técnicas dinámicas requieren el uso de datos en movimiento o en trayectoria. El término cinemático se ha usado para describir la topografía de GPS dinámica tradicionalmente. El término cinemático se refiere a ambos el modo cinemático "verdadero" donde sólo la trayectoria es de interés, y al modo *stop and go* cinemático donde solo algunos puntos a lo largo de la trayectoria son de interés.

El modo cinemático en tiempo real (RTK) simplemente relega el procesamiento de los datos al momento de la colección de los datos, proporcionando información relacionada a la calidad de las mediciones en campo mientras usted está tomando las medidas. Esto elimina la necesidad del posproceso, permitiendo hacer estacado mientras se está en movimiento.

Los avances tecnológicos no se detienen, día a día aparecen nuevos y más sofisticados instrumentos de medición en el mercado, todo indica que la tendencia es que los avances tecnológicos continúen creciendo reduciendo así los costos y aumentando las precisiones por lo que las mediciones serán cada vez de mayor calidad.

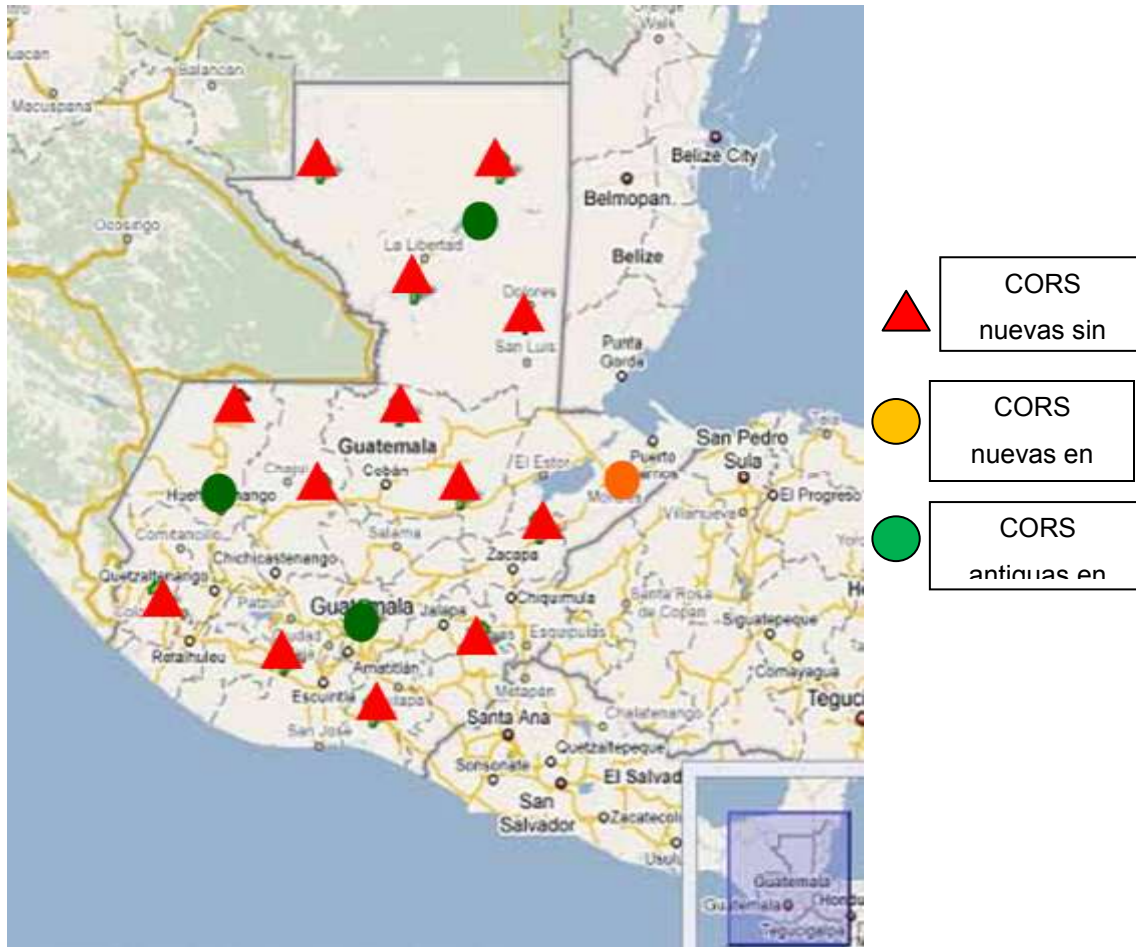
2. APLICACIONES GEODÉSICAS DE MEDICIÓN SATELITAL

2.1. Redes geodésicas

Las redes geodésicas consisten básicamente en una serie de puntos distribuidos por toda la superficie de un país, un departamento o un municipio, formando una malla de triángulos de los cuales se conocen sus coordenadas con mucha precisión, a dichas coordenadas se le denominan vértices geodésicos. Las redes geodésicas se dividen en redes de control horizontal y redes de control vertical, las redes de control horizontal a su vez se dividen en redes de orden superior y redes de orden inferior y las redes de control vertical se le conocen como redes de nivelación geodésica.

Los vértices de las redes de primer orden están geoposicionados con una mayor precisión que las de orden inferior por lo que los vértices de las redes de primer orden están separados entre sí a una mayor distancia que los vértices de las redes de orden inferior. En Guatemala existen diecisiete vértices de la red geodésica de primer orden ubicados en diferentes puntos de la república, tal como se muestra en la figura No. 1. Estos vértices son conocidos como CORS que por sus siglas en inglés significa Continuously Operating Reference Station, que significa Estación de Referencia de Operación Continua. Las CORS como su nombre lo indica son de operación continua y la información que estas estaciones proveen están a la disposición del público en el Instituto Geográfico Nacional.

Figura 1. Ubicación de CORS en Guatemala



Fuente: Ing. Jorge Mansilla, RIC

En estas redes se basan una gran cantidad de estudios y trabajos, algunos de ellos son los levantamientos topográficos, cartográficos, geodésicos, entre otros. Las redes geodésicas de orden inferior requieren de una menor precisión que las de primer orden y estas se geoposicionan partiendo de la red geodésica de primer orden.

El Registro de Información Catastral está actualmente colocando una red geodésica de orden inferior en Guatemala, pero debido a que es con fines catastrales ha decidido llamarla Red de Apoyo Catastral conocida por sus siglas como RAC, hay tres distintos tipos de RAC dependiendo de su precisión, estos son:

- RAC1: son las Redes de Apoyo Catastral de Primer Orden, tienen una distancia entre sí de 7 a 15 kilómetros y una precisión de 5 mm + 1 parte por millón o 1 milímetro por kilómetro de la longitud de línea base. Estas son establecidas únicamente por el RIC.
- RAC2: son las Redes de Apoyo Catastral de Segundo Orden, tienen una distancia entre sí de 0,5 a 7 kilómetros y una precisión de 10 mm + 2 partes por millón o 1 milímetro por kilómetro de la longitud de línea base.
- RAC3: son las Redes de Apoyo Catastral de Tercer Orden, son referenciadas a la RAC2 y se utilizan como polígonos de apoyo para el levantamiento de áreas urbanas y centros poblados.¹

2.2. Aplicaciones geodésicas

Las redes geodésicas de orden inferior o redes de apoyo catastral van a ser de gran utilidad en Guatemala debido a que estas van a servir para trabajos futuros y van a ser de uso gratuito. La geodesia se puede aplicar prácticamente de dos maneras en el proyecto de las redes de apoyo catastral,

¹ Manual de Normas Técnicas y Procedimientos Catastrales del RIC, p. 20.

siendo estas el diseño y construcción de una red geodésica nueva y la ampliación de una red existente.

2.2.1. Construcción de una red geodésica nueva

Para colocar una red geodésica o red de apoyo catastral es necesario cumplir con los requisitos establecidos en el Manual de Normas y Procedimientos catastrales del RIC, especialmente considerando distancias y de precisiones, estas se pueden cumplir fácilmente con la tecnología de medición satelital. El establecimiento de los vértices de las redes geodésicas empieza en trabajo de gabinete, a lo cual se le llama diseño de la red.

En el diseño se propone una red geodésica que cumpla con el requisito de distancia entre vértices, al mismo tiempo se van colocando los vértices sobre una ortofoto reciente con el objetivo de establecer en una ubicación adecuada, tomando en cuenta la accesibilidad al lugar y que quede lo más cercano posible a los lugares poblados, sin construcciones ni árboles que puedan ocasionar problemas en las lecturas de las antenas receptoras.

Las ortofotos más recientes con que se cuentan en la actualidad son del 2005, luego del diseño en gabinete se procede a un recorrido de conocimiento donde se analizan los vértices de la red propuesta y si hubiera necesidad se corrigen los vértices que no cumplan hasta que todos los vértices de la red cumplan con los requisitos. Después de tener un diseño final de la red geodésica de orden inferior, se procede al establecimiento de los vértices cumpliendo con la precisión requerida por el Manual de Normas Técnicas y Procedimientos Catastrales del RIC.

2.2.2. Ampliación de una red geodésica existente

Por motivos económicos no se construye una red geodésica de orden inferior o red de apoyo catastral para todo el país, por lo que es necesario ir ampliando la red existente con forme disponibilidades económicas. La ampliación es más fácil de realizarse debido a que ya se conoce el terreno y se ahorra tiempo en la verificación de los vértices de la red nueva en gabinete. Básicamente consiste en los mismos pasos que se realizan para la construcción de una red geodésica nueva.

3. SISTEMAS DE REFERENCIA

3.1. Generalidades

Como se mencionó en el capítulo 1, GNSS está compuesto por varias constelaciones de satélites, hasta el 2000 cada uno tenía su propio sistema de referencia pero con el avance de los sistemas de posicionamiento con satélite fue evidente que era necesaria la utilización de un único sistema de referencia global. En la actualidad, GPS y GLONASS han tenido una influencia fundamental en la definición y el uso de los Datums geodésicos utilizados.

La mayoría de países se mantiene actualizando sus sistemas de referencia con el objetivo de ser más compatibles con los sistemas de referencia en los que se basan las técnicas espaciales, siendo de mayor tendencia a utilizar un Datum asociado con ITRF (Internal Terrestrial Reference Frame). Debido a que los sistemas de posicionamiento mediante satélites son de naturaleza tridimensional, es necesario relacionar los Datums horizontales y verticales, surgiendo así el problema con la altimetría. Esto lleva a la necesidad de un estudio particular de los Datums altimétricos, para la obtención de un Datum Vertical Global.

3.2. Marcos de referencia y Datum

Los términos de Datum, sistema de referencia y coordenadas están muy interrelacionados, y es normal que su uso se intercambie al momento de hablar de georeferenciación, perdiendo cada uno de ellos su significado concreto.

Para la mayor parte de los problemas geodésicos, se utiliza la geometría de un espacio Euclídeo de una, dos o tres dimensiones en donde todos los ejes de coordenadas tienen un punto en común. Por razones de conveniencia, es preferible que los ejes sean perpendiculares entre sí, definiendo así un sistema de referencia cartesiano. Los sistemas definidos hasta ahora, no son más que conceptos, para hacerlos reales es necesario asignar valores numéricos para las coordenadas de puntos tangibles del terreno y así es como surgen los marcos de referencia. El marco de referencia existe físicamente en el terreno, representando la aplicación de la práctica del sistema de referencia.

La definición de la información de posición de un punto sobre el terreno estará definida por tres conjuntos de datos, los cuales son:

- El tipo de información de posición, es decir, el sistema de coordenadas.
- El tipo de referencias utilizadas para su determinación, es decir, el marco de referencia al que pertenecen.
- Los valores que definen la posición.

Así mismo los marcos de referencia se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Marco de referencia tridimensional
- Marco de referencia bidimensional, horizontal o planimétrico
- Marco de referencia unidimensional o altimétrico

Según el tipo de Datum que utilicemos, necesitamos definir lo siguiente:

- Elipsoide de referencia
- Meridiano de origen
- Sistema de unidades, lineal y angular
- Modelo de geoide
- Proyección Cartográfica

Una proyección cartográfica o proyección geográfica es un sistema de representación plana que establece una relación entre los puntos de la superficie curva de la tierra y los de una superficie plana, como la de un mapa.

3.3. Sistemas de marcos de referencia globales

La figura "natural" de la Tierra, excluyendo la topografía o forma externa, se asemeja a la definición de geoide, definida como una superficie de nivel equipotencial del campo del campo gravitatorio terrestre.

Esta superficie equipotencial o de nivel materializado por los océanos cuando se prescinde del efecto perturbador de las mareas (casi la superficie del nivel medio de los mares) es la superficie de referencia para la altitud.

La Tierra puede representarse con mucha aproximación mediante un elipsoide de revolución.

3.3.1. Datum WGS-84

El datum WGS-84 es un sistema de coordenadas cartográficas mundial que permite localizar cualquier punto de la tierra por medio de tres valores dados. WGS-84 son las siglas en inglés de World Geodetic System que significa Sistema Geodésico Mundial que data de 1984 y fue creado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos. Técnicamente con este sistema se proyectó las coordenadas geodésicas a un sistema de coordenadas cartesianas, llamados típicamente UTM.

El sistema WGS-84 constituye un Sistema de Referencia Geodésico y se construyó a través de observaciones gravitatorias, observaciones a satélites *TRANSIT*, por técnicas *Doppler* las cuales se basan en la medición del desplazamiento que consiste en la variación aparente en el valor de la frecuencia en función de la velocidad de acercamiento de la fuente emisora, entre otros.

3.3.2. Proyección GTM

El sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator (en inglés Universal Transverse Mercator) conocida por sus siglas UTM es un sistema de coordenadas creado secante a dos meridianos. A diferencia del sistema de coordenadas geográficas, expresadas en latitud y longitud, las magnitudes en el sistema UTM se expresan en metros.

La proyección UTM se creó con el objetivo de ubicar más fácil el posicionamiento de un punto en la superficie terrestre, En otras palabras, se tomó el elipsoide de la tierra y se extendió en un plano, dividiendo a la tierra en 60 zonas de 6 grados de longitud. Entre las uniones de las zonas existe una

deformación que va aumentando conforme se va acercando a los polos, por lo que la proyección UTM se define entre los paralelos 80 grados sur y 84 grados norte.

El territorio de Guatemala se encuentra ubicado entre dos zonas UTM, la 15 y la 16, lo cual complica la utilización de estas por la deformación que existe en la unión de ambas zonas. Para facilitar el manejo de data geográfica a dentro de la república y estandarizar las proyecciones, el Instituto Geográfico Nacional (IGN) decidió crear una nueva proyección que permite cubrir todo el territorio guatemalteco, a esta nueva proyección se le denominó Guatemala Transverse Mercator, conocida por sus siglas como GTM.

4. POSICIONAMIENTO CON TÉCNICAS DE MEDICIÓN SATELITAL

4.1. Generalidades

El posicionamiento es marcar la ubicación de un punto por medio de sus coordenadas, lo complicado del posicionamiento es la precisión con la que se logre ubicar el punto. La manera en que se logra tener una mayor precisión es evitando los errores, ya que cada error le va sumando un valor de incerteza a el punto ubicado respecto con la coordenada deseada.

Existen dos maneras de posicionar un punto utilizando la medición satelital, una de ellas es con el método de la pseudodistancia y la otra es utilizando la fase de la portadora; para ambos métodos se necesita estar conectado por lo menos a 4 satélites y mientras más sean los satélites que se utilicen mayor será la precisión.

La pseudodistancia es el método que utilizan los GPS's de mano, estos al encenderse mandan una señal al satélite y toman el tiempo que le toma a la señal en ir y regresar, los satélites tienen un reloj atómico en su interior, los cuales son capaces de medir hasta 1/1 000 000 000 de segundos, sabiendo que la luz viaja a una velocidad de 300 000 000 metros por segundo conocemos que con el método de la pseudodistancia se obtiene un error de 0,3 metros, lo cual es inaceptable en la geodesia.

El método de la fase de la portadora es mucho más preciso que el de la pseudodistancia, este método consiste en contar las ondas senoidales que

envían los satélites a una antena receptora. Existen dos maneras de realizar este método, una es de la forma estática con la cual se observa continuamente durante un período de por lo menos una hora en varias estaciones simultáneamente, la otra manera es la forma cinemática en la cual una estación permanece fija y se le llama estación de referencia y las otras antenas receptoras van ocupando sucesivamente los puntos del levantamiento.

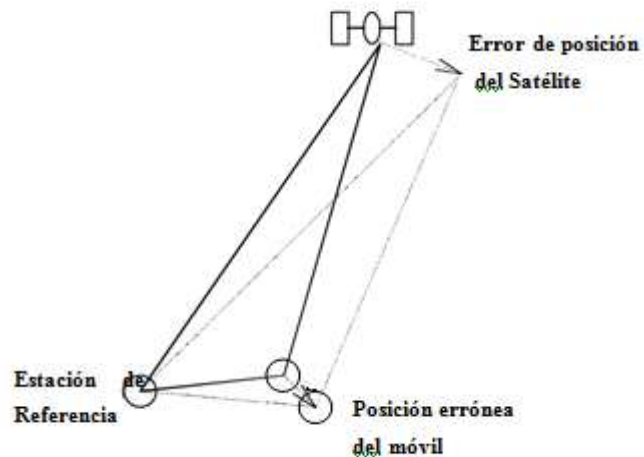
4.2. Errores

Los errores se producen como consecuencia del efecto de las atracciones gravitacionales de la Luna y el Sol o por la presión de la radiación solar en los satélites

4.2.1. Efemérides

Para posicionar un punto, la antena receptora debe conocer la posición de los satélites a los que está conectada, con el fin de realizar cálculos exactos. Las orbitas transmitidas por los satélites son una extrapolación temporal y esta es la principal causa del error de efemérides. El error de efemérides se debe a que la posición transmitida por el satélite no coincide exactamente con la posición real de este por lo que tampoco se obtienen las coordenadas reales del punto a posicionar.

Figura 2. **Error de efemérides**



Fuente: AGUILERA UREÑA, María Jesús. Desarrollo de una metodología de cálculo de redes geodésicas observadas mediante GPS, p. 61.

Para reducir el efecto de este error se pueden usar las llamadas efemérides precisas, estas son las posiciones calculadas para cada satélite y para cada instante de tiempo desde puntos de control terrestres y son publicadas con algunos días de retraso.

Existen tres sistemas de datos disponibles para la determinación de los vectores de los satélites, las cuales son:

- Datos de almanaque: estos proveen al usuario de datos menos exactos para facilitar la búsqueda de los satélites por parte del receptor.

- Efemérides transmitidas: las estaciones de rastreo reciben las señales emitidas por los satélites en un lapso de aproximadamente 7 días y envían las observaciones a la estación de control maestro, esta estación se encarga de calcular las orbitas de los satélites. A partir de estas se predicen orbitas que describen el movimiento de los satélites en el futuro. Luego estas orbitas predichas son enviadas desde la tierra a los satélites.
- Efemérides precisas: estas son determinadas por el International GPS Service, que se conoce por sus siglas como IGS, en base a los datos recogidos por sus estaciones de referencia distribuidas por todo el globo terrestre. Estas, a diferencia de las efemérides transmitidas, son calculadas y no predichas por lo que no están disponibles en el tiempo real para los usuarios.

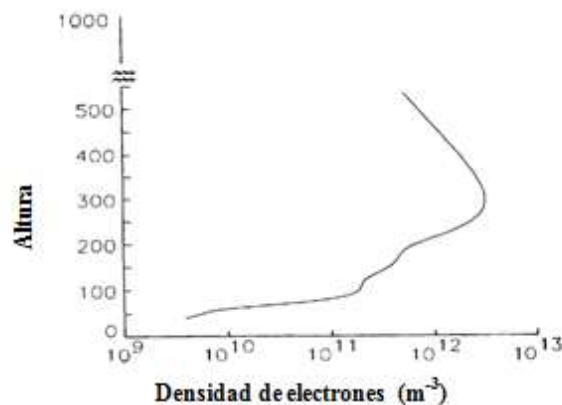
4.2.2. Error de reloj

Los relojes de los satélites utilizan osciladores de cesio o de rubidio, que tienen una estabilidad de 10^{13} segundos en un día, y como un día tiene alrededor de 10^5 segundos, se puede establecer que el error es de 10^{-8} segundos. Traduciendo este error en términos de distancia, tenemos una considerable discrepancia que puede variar desde 1 hasta 3,5 metros. La estación de control terrestre calcula los coeficientes de corrección para cada reloj de los satélites, estos son dados a través de mensaje de navegación.

4.2.3. Ionósfera

Al existir electrones libres en la ionósfera, la señal no viaja a la velocidad de la luz al atravesar esta zona de la atmosfera, que va desde los 50 hasta los 1000 kilómetros, sino que se retrasa proporcionalmente al número de electrones libres encontrados e inversamente proporcional al cuadrado de la frecuencia. En la figura 3 se puede apreciar la variación de la densidad del contenido de electrones en función de la altura durante el día.

Figura 3. **Densidad diurna de electrones en la Ionósfera**

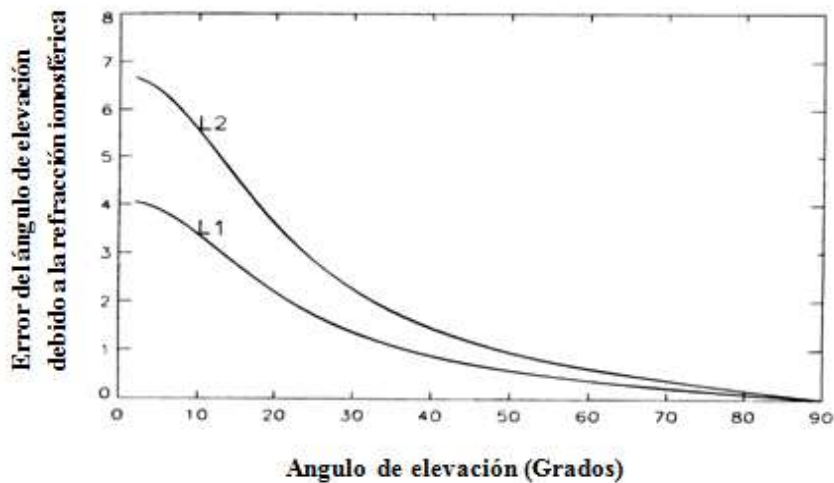


Fuente: AGUILERA UREÑA, María Jesús. Desarrollo de una metodología de cálculo de redes geodésicas observadas mediante GPS, p. 63.

La Ionósfera está bien estudiada y es bastante estable en las zonas templadas, pero cerca del ecuador o de los Polos Magnéticos se puede fluctuar considerablemente, variando el error desde 1 metro hasta más de 100 metros.

Otra de las mayores causas del error ionosférico es la refracción que sufre la señal al atravesar las distintas capas, en la figura 4 se puede apreciar cómo afecta esta circunstancia las frecuencias en función del ángulo de elevación.

Figura 4. Refracción ionosférica



Fuente: AGUILERA UREÑA, María Jesús. Desarrollo de una metodología de cálculo de redes geodésicas observadas mediante GPS, p. 64.

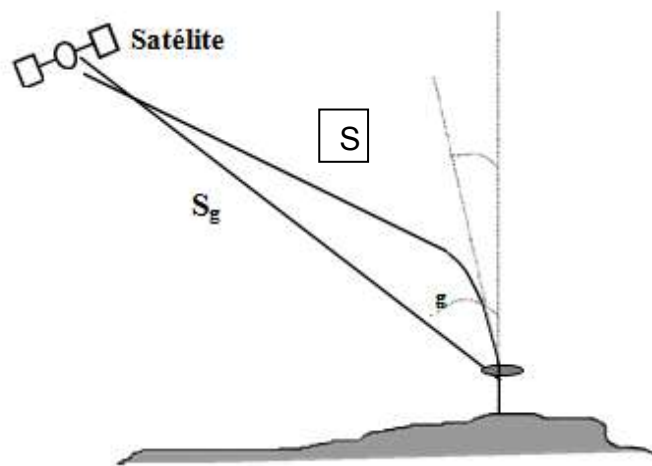
El primer modelo para corregir el efecto ionosférico fue ideado a mediados de los años 70, este corregía aproximadamente el 50 por ciento del error de la distancia entre el satélite y el receptor. Posteriormente se estableció un modelo de corrección en función de la latitud y longitud geodésica, ángulo de elevación y azimut de cada satélite, que es el que actualmente se utiliza, la precisión de este modelo en zonas templadas es de 2 a 5 metros de las distancias del satélite al receptor.

4.2.4. Tropósfera

Otro de los retrasos de la señal se debe al paso de ésta por la Tropósfera; en esta zona de 50 kilómetros de la atmosfera, la señal sufre una refracción y curvatura en la trayectoria debido a los átomos y moléculas que se encuentran en esta zona.

En la figura 5 se puede apreciar como se ve afectada la distancia del satélite al receptor por la refracción atmosférica, donde S es la distancia medida que se ve afectada por dicho efecto y S_g es la distancia geométrica del satélite al receptor, que es la real.

Figura 5. **Efecto de la refracción troposférica**



Fuente: AGUILERA UREÑA, María Jesús. Desarrollo de una metodología de cálculo de redes geodésicas observadas mediante GPS, p. 65.

La alteración de la señal suele estar por debajo de 0,5 decibeles, lo cual supone un retraso de 2 a 25 metros, dependiendo principalmente del ángulo de elevación del satélite. Los ángulos de elevación de los satélites cercanos al cenit son los que menos retraso sufren, de 2 a 2,5 metros, mientras que los bajos aumentan este error proporcionalmente a la cosecante del ángulo de elevación.

La manera de corregir esta fuente de error es la utilización de modelos troposféricos, en general los componentes troposféricos se pueden dividir en componentes húmedos y en componentes secos. Los componentes secos

están a lo largo de los 50 kilómetros de la Tropósfera mientras que los componentes húmedos están principalmente en los primeros 12 kilómetros de altura.

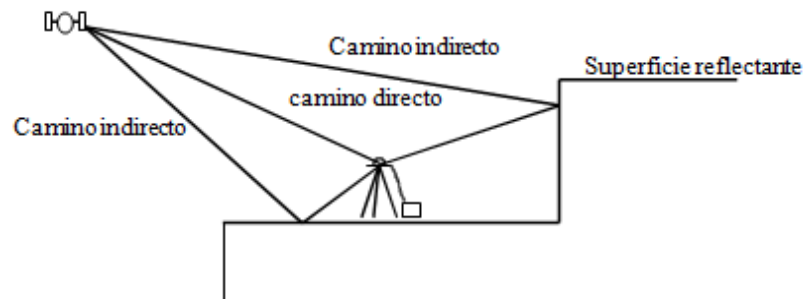
- Los principales modelos troposféricos son los de:
- *Hopfield* de 1969, basando su modelo en perfiles de los componentes húmedos y secos de la atmósfera.
- *Saastamoinen* en 1972 y 1973, basando su modelo de estimación del retraso troposférico en el ángulo de elevación.
- *Berman* en 1976, propone un modelo de retraso basado en los componentes secos y la correlación de los componentes húmedos medidos de día y de noche.
- *Davis, Chao y Mariani* en 1972, proponen corregir el exceso de distancia debido al ángulo de elevación del satélite mediante a funciones.
- *Altshuler y Kalagham* en 1974. Proponen un modelo de corrección basado en correcciones mensuales de los valores de retroactividad.
- *Black y Eisner* en 1984, proponen un modelo de *Hopfield* que introduce los ángulos de elevación.
- *Janes, Langley y Newby* en 1991, proponen un modelo simplificado que puede ser útil para los usuarios a nivel del mar.

Los errores debidos al retraso troposférico se eliminan en parte con la técnica relativa ya que existe cierta correlación en los errores de diferentes satélites. Los errores de este tipo se dan sobre todo para satélites con ángulos de elevación bajos. Para la mayor parte de los usuarios, un modelo simple puede dar una precisión de 1 metro o mejor en la distancia del satélite al receptor.

4.2.5. Multicamino (*Multipath*)

El efecto multisenda o multicamino se debe a que la señal entrante en el receptor enmascara el pico real de la correlación causado por la reflexión de ésta en zonas cercanas a la antena. Otra manera de definir este efecto es que la señal del satélite llega al receptor por dos o más caminos diferentes, por eso se le llama multicamino. La figura 6 muestra las distintas direcciones que podría seguir la señal.

Figura 6. Efecto multicamino



Fuente: AGUILERA UREÑA, María Jesús. Desarrollo de una metodología de cálculo de redes geodésicas observadas mediante GPS, p. 68.

El efecto tiende a ser más pronunciado en receptores estáticos cerca de superficies reflectantes, llegando en casos extremos a cometerse un error de 15 metros en la medida de la distancia. Las estaciones de referencia deben de prestar mucho cuidado para minimizar este efecto, las principales formas de minimizarlo son:

- Utilizar máscara de elevación
- Ubicar la antena receptora lejos de zonas reflectantes
- Utilizar una correlación estrecha
- Utilización de materiales que absorban la señal

Con observaciones realizadas durante un largo período de tiempo, también se puede minimizar este efecto, pero esto no es posible con observaciones cinemáticas o estáticas rápidas. Es sobre todo para este tipo de observación donde la tecnología de la antena receptora ha mejorado mucho y ha reducido en un gran porcentaje los errores de este tipo.

4.2.6. Receptor

Los errores del receptor son debidos al equipo de recepción constituido por receptor y antena. Los primeros receptores comerciales eran secuenciales, donde uno o dos canales servían para hacer el seguimiento a cuatro o más satélites. Hoy en día, las mejoras en la tecnología han permitido tener costos más bajos, siendo comunes los receptores de 12 canales.

Los errores del hardware del receptor se deben a lo siguiente:

- Ruidos del receptor
- Error intercanal

- Variación del retraso de la fase
- Inestabilidad del reloj
- Variación del centro de fase de la antena

La tecnología moderna tiende a reducir el ruido de la fase por debajo de 1 milímetro, y reducir el ruido del código a nivel centimétrico. Esto último tiene especial importancia para la resolución de ambigüedades enteras en tiempo real. El ruido del receptor suele ser el 1 por ciento de la longitud de onda de la señal.

Los receptores multicanales tienen distinto retraso para cada canal, ya que la señal procedente de cada satélite recorre un camino distinto. La variación del retraso de la fase depende de la fuerza de la señal y su influencia se puede reducir introduciendo varios satélites para el cálculo de la solución.

La inestabilidad del reloj del receptor se debe a que están equipados con osciladores de cuarzo, pero esto tiene una influencia secundaria en el diseño del receptor, ya que la sincronización se hace con el reloj del satélite. Este error se puede modelar en el proceso de ajuste y se suele incluir con otras causas de error al momento de corregirlo.

El centro eléctrico de la fase de la antena varía con intensidad y dirección de la señal. Para aplicaciones de muy alta precisión se debe conocer de forma muy bien el centro de la fase de la antena. Los modelos de los centros de fase de la antena se pueden utilizar para ser incorporados sin mucho esfuerzo dentro de otros modelos de corrección de errores, como los del multicamino, troposféricos, de distribución de satélites, entre otros.

4.2.7. La disponibilidad Selectiva (SA)

La Disponibilidad Selectiva (SA) es la degradación intencionada de la señal del sistema de posicionamiento global, GPS, con el objetivo de denegar la capacidad plena de precisión en el posicionamiento y velocidad de los usuarios no autorizados.

La disponibilidad Selectiva (SA) no formaba parte del diseño inicial del sistema GPS, pero tuvieron precisiones mejores de las previstas por lo que el Departamento de Defensa de los Estados Unidos lo implemento en 1990. Sin embargo, en mayo del 2000, el presidente de los Estados Unidos hizo pública la decisión de eliminar la disponibilidad selectiva. Es por ello que esta fuente de error, hoy en día, no tiene que ser considerada.

4.2.8. Efectos relativistas

Las observaciones tanto para la geodesia como para la cartografía se realizan como modelos físicos, sin embargo este modelo físico basado en la mecánica newtoniana no debería usarse en las siguientes condiciones:

- Cuando las señales electromagnéticas se usan en las observaciones
- Con cuerpos cuya velocidad es comparable a la velocidad de la luz
- Cuando existe un campo de gravedad fuerte

En estos casos la mecánica Newtoniana se sustituye por la relatividad general. Los efectos de la relatividad a un usuario de tecnologías de medición satelital le afecta en lo siguiente:

- La órbita del satélite: el campo de gravedad de la tierra causa perturbaciones en las orbitas de los satélites, lo afecta creando una curvatura espacio-tiempo en la señal.
- El reloj del satélite: la frecuencia fundamental del reloj del satélite está influenciada por el movimiento y por la diferencia de gravedad entre el satélite y el lugar del observador, esto debe de ser corregido antes del lanzamiento en órbita del satélite.

4.3. Precisión en el posicionamiento con técnicas de medición satelital

En las técnicas de medición satelital pueden considerarse dos contribuciones diferentes al error esperado que empeoran la estimación final de la posición, estas son: UERE que considera únicamente el error que se está produciendo en el cálculo de la distancia al satélite y DOP que está considerando la influencia que en el error final de posición está teniendo la configuración espacial de los satélites y el usuario.

4.3.1. UERE

El User Equivalenty Range Error, conocido por sus siglas en inglés como UERE es el Error Equivalente en la Distancia al Usuario. Estos errores que afectan a las observaciones satelitales se conocen como errores sistemáticos, y se dividen en tres categorías:

- Errores sistemáticos en los satélites: son debidos a un conocimiento deficiente de su órbita y a posibles irregularidades en los relojes, tanto de estado como de marcha.
- Errores sistemáticos en la estación: son debidos a los relojes de los receptores y a un posible desconocimiento de unas coordenadas aproximadas de la estación.
- Errores sistemáticos debidos al medio en que se propaga la onda electromagnética: son el retardo ionosférico y el troposférico, y de la propia onda electromagnética.

El User Equivalenty Range Error (UERE) se calcula como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las fuentes de error individuales que contribuyen a la medida de la pseudodistancia. Las magnitudes que contribuyen a dicho error y su orden de magnitudes se muestran en las tablas siguientes, distinguiendo para las situaciones de Disponibilidad Selectiva (SA) activada o desactivada.

Tabla I. **Errores estándar, con Disponibilidad Selectiva (SA)**

Causa de error	l (m)			DGPS
	Sistemáticos	Aleatorios	Total	
Efemérides	2.1	0.0	2.1	0.0
Error del satélite	20.0	0.7	20.0	0.0
Ionosfera	4.0	0.5	4.0	0.4
Troposfera	0.5	0.5	0.7	0.2
Multipath	1.0	1.0	1.4	1.4
Receptor	0.5	0.2	0.5	0.5
UERE (rms)	20.5	0.4	20.5	1.5
Vertical (VDOP= 2.3)				51.4
Horizontal (HDOP= 2.0)				41.1

Fuente: AGUILERA UREÑA, María Jesús. Desarrollo de una metodología de cálculo de redes geodésicas observadas mediante GPS, p. 73.

Tabla II. Errores estándar, sin Disponibilidad Selectiva (SA)

Causa de error	1 (m)			DGPS
	Sistemáticos	Aleatorios	Total	
Efemérides	2.1	0.0	2.1	0.0
Error del satélite	2.0	0.7	2.1	0.0
Ionosfera	4.0	0.5	4.0	0.4
Troposfera	0.5	0.5	0.7	0.2
Multipath	1.0	1.0	1.4	1.4
Receptor	0.5	0.2	0.5	0.5
URE (rms)	5.1	0.4	5.1	1.5
Vertical (VDOP= 2.5)			12.8	3.9
Horizontal (HDOP= 2.0)			10.2	3.1

Fuente: AGUILERA UREÑA, María Jesús. Desarrollo de una metodología de cálculo de redes geodésicas observadas mediante GPS, p. 74.

4.3.2. DOP

La Dilución de la Precisión, conocida por sus siglas en inglés como DOP, Dilution Of Precision, es la contribución puramente geométrica a la incertidumbre de un posicionamiento.

Las mediciones de los satélites pueden ser mejores o peores dependiendo de qué satélites se empleen para efectuar una medición de posición, ya que dependiendo de los ángulos relativos en el espacio la geometría puede aumentar o disminuir la incertidumbre. Así, el lugar geométrico de puntos a una determinada distancia del satélite es en realidad una esfera difusa. Como la posición del usuario quedaba definida por la intersección de dichas esferas ya no será un único punto sino un cierto volumen.

La DOP es un valor adimensional que describe la seguridad de la figura observable, constituida por el receptor y los vectores que determina el receptor con los satélites a la vista. Su valor ideal es uno, pero aumenta si la geometría empeora, pudiéndose producir una situación en la que habiendo suficientes satélites a la vista, deba suspenderse la observación porque la DOP supere un valor establecido como puede ser 6 (el que habitualmente se emplea). Así pues la Dilution Of Precision (DOP) es un factor por el que se multiplica el error cometido en las determinaciones de las distancias a los satélites para establecer el error final de posicionamiento.

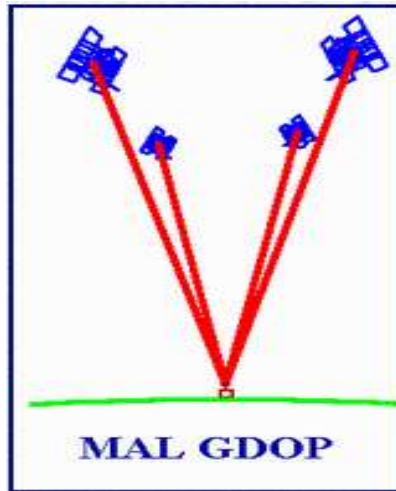
Existen distintos tipos de Dilución de la precisión, los cuales son los siguientes:

- VDOP: dilución vertical de la precisión
- HDOP: dilución horizontal de la precisión
- GDOP: dilución de la precisión geométrica
- PDOP: dilución de la precisión en posición

El PDOP se puede interpretar como el valor recíproco del volumen V formado por, la intersección de la esfera centrada en el receptor con los vectores satélites - receptor.

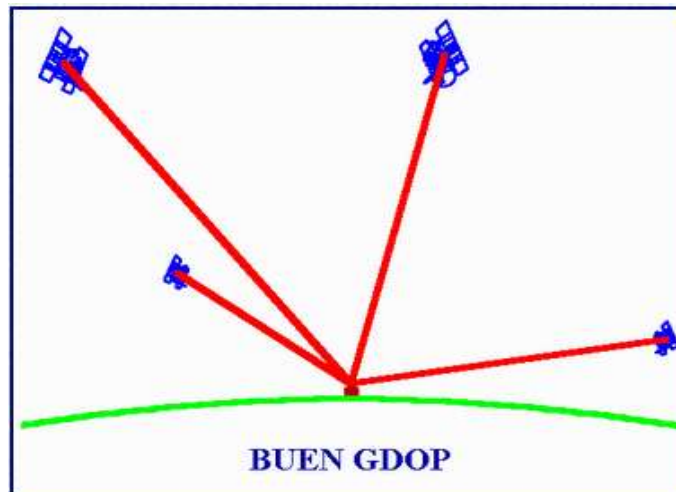
$$PDOP = \frac{1}{V}$$

Figura 7. **DOP alto**



Fuente: AGUILERA UREÑA, María Jesús. Desarrollo de una metodología de cálculo de redes geodésicas observadas mediante GPS, p. 76.

Figura 8. **DOP bajo**



Fuente: AGUILERA UREÑA, María Jesús. Desarrollo de una metodología de cálculo de redes geodésicas observadas mediante GPS, p. 76.

4.4. Metodología de posicionamiento de una red de apoyo catastral

Para realizar el posicionamiento de una red de apoyo catastral, ya sea de primer o de segundo orden, es necesario realizar la siguiente metodología:

Primero el Registro de Información Catastral (RIC) debe de aceptar un diseño geométrico propuesto, este diseño tiene que cumplir con las distancias mínimas y máximas entre vértices dependiendo del grado de la RAC. Al ser aprobado el diseño geométrico se procede a entregar al RIC la siguiente documentación:

- Diseño de la red sobre hojas cartográficas 1:50 000. Esto sirve para poder observar los lugares de acceso a cada punto de la red, así como también definir si la ubicación de los vértices es la mejor.
- Fichas descriptivas de las estaciones de las RAC superior, en caso de estar diseñando una RAC1 se entregan las fichas descriptivas de las estaciones del IGN.
- Listado de distancias entre vértices para poder comprobar que estas cumplen con las distancias establecidas en el manual.
- Especificaciones de los receptores a utilizar.
- Cronograma de actividades.
- Plan de geometría, demostrando la redundancia que debe tener cada vértice de la RAC.

Al ser aprobado el diseño de la red inicia el trabajo de campo, el cual consiste en las siguientes etapas:

Socialización

Esta etapa consiste en comunicarles a todos los miembros de las comunidades involucradas que se estará realizando el trabajo de la Red de Apoyo Catastral, se les explica para qué es el trabajo y que beneficios les traerá a la comunidad. El primer paso para acercarse a la comunidad es contactar a algún miembro del COCODE, mejor si es el presidente, luego se realiza una reunión con el COCODE del lugar y se les explica a ellos el motivo del trabajo, el COCODE se encarga de hacérselo saber a su comunidad y al final ellos son los que tienen la última palabra, si ellos no quieren que se realice el trabajo no se les puede obligar y es necesario buscar otro lugar cercano para no afectar tanto la geometría de la red.

El encargado de que la socialización se realice es el RIC y esta etapa debe de estar finalizada para cuando ya se haya aprobado el diseño para salvaguardar la integridad física de los trabajadores de campo y evitar pérdida de tiempo que al final representa pérdidas económicas.

Monumentación

La monumentación es la materialización física de las redes de apoyo catastral de primer y segundo orden, estos deben de cumplir con las características según su orden establecidas por el RIC y se realizan previo a su geoposicionamiento.

Luego de que las comunidades estén enteradas de los trabajos que se van a estar realizando se procede a fundir los monumentos de los vértices de la red, con un navegador de mano se localizan las coordenadas de los vértices y luego se analiza si el lugar es el óptimo para dejar el vértice, ya que en las ortofotos o en las hojas cartográficas no se pueden apreciar objetos que afecten al momento de la recepción de señal del receptor por lo que el sitio tiene que cumplir con las siguientes especificaciones, las cuales se describen en el Manual de Normas Técnicas y Procedimientos Catastrales del RIC.

- Cielo despejado sobre los 10 grados sobre el horizonte.
- Evitar la existencia de superficies reflejantes a menos de 50 metros del vértice, tales como espejos de agua, techos planos de lámina, etc.
- Evitar líneas de alta tensión, antenas de equipos de comunicación y estructuras metálicas.
- El suelo debe ser estable, libre de erosión y de deslizamiento.
- No deberá de estar en cruce de vías o en lugares de intenso tráfico.
- De preferencia que sean lugares públicos y seguros.

De acuerdo con el Manual del RIC, la mezcla de concreto que se utilizará para fundir los monumentos deberá cumplir con la proporción 1:2:2 (una parte de cemento, dos de arena y dos de piedrín). Es importante estar observando el monumento durante el proceso de fraguado del concreto ya que es muy común que algunas personas saboteen los monumentos colocados. Otro aspecto importante a tomar en cuenta es verificar que la ficha quede bien sin ningún

movimiento ya que si permite movimiento la precisión de las coordenadas del vértice no serían confiables.

Geoposicionamiento

El geoposicionamiento es el método por el cual se determinan las coordenadas de cada vértice de las redes, el método se aplica de igual manera sean coordenadas geográficas, planas y/o cartesianas, producidas por un receptor de tecnología satelital, como lo puede ser GPS, GLONASS, GALILEO o GNSS.

5. SOFTWARE DE POSPROCESO Y AJUSTE DE REDES

Los software de posproceso y ajuste se utilizan para disminuir la tolerancia y darle una mejor precisión a los datos obtenidos en campo, el software a utilizar va a depender de la marca de las antenas receptoras que se utilicen, en el ejemplo de aplicación que se describe en el capítulo 7 se utilizan receptores marca Trimble por lo que el software a utilizar es el Trimble Business Center o conocido por sus siglas en inglés como TBC.

Independientemente de la marca del software, la metodología a utilizar es la misma. El primer paso es indicarle al programa el tipo de coordenadas a utilizar, en el caso del ejemplo de aplicación se utilizarán las GTM, la cual pertenece a las UTM en la zona 15,5 del sistema WGS-84. El siguiente paso es ingresar los datos obtenidos con el receptor al programa, luego se procede a ingresar las coordenadas de los puntos conocidos, ya que estos son los que le van a dar sus coordenadas a los demás puntos.

Luego de ingresar los datos explicados anteriormente se procede a correr el programa y este indicará cuales son los puntos que no cumplen con la precisión requerida, en estos puntos que no cumplen se observa la señal de los satélites que le estuvieron mandando señal y se depuran las partes que están afectando la señal, si es necesario se elimina el satélite por completo siempre y cuando se dejen por lo menos 4 satélites para cada punto.

6. RESOLUCIÓN DE REDES GEODÉSICAS

6.1. Generalidades

El resultado inmediato del procesado de la medida de fase observada es el vector existente entre las dos estaciones, normalmente expresado como diferencia de coordenadas cartesianas en el sistema WGS-84, y su correspondiente matriz varianza-covarianza, que refleja la precisión de dicha línea base. Este resultado se obtiene para cada dos receptores observándose simultáneamente pero procesando cada una de las líneas base de manera independiente.

El objetivo de la solución de mínimos cuadrados de la red es combinar los vectores observados independientemente en una única solución para la red, obteniendo coordenadas ajustadas para las estaciones que forman la red, junto con parámetros establecidos en el ajuste.

Una posibilidad adicional del ajuste de una red es obtener información de precisión, lo que es posible por el hecho de partir de un conjunto redundante de observaciones, precisión de los parámetros obtenidos, pero también precisión real de las observaciones de partida.

Cuanto mayor redundancia de las observaciones de la red, mayor será la utilidad del ajuste de la red como medida de la fiabilidad de las posiciones obtenidas. Si no se tiene redundancia la solución de la red no tiene un punto de comparación para poder comprobar la veracidad del vértice por lo cual no es fiable dicho vértice.

Para conseguir un control significativo, la red de vectores no debe contener ningún vector desconectado, es decir, todos los vectores deben de estar conectados con los vectores aledaños. A nivel de red, se puede valorar la calidad de los vectores de observación derivados, se puede analizar la geometría de la red en conjunto, la fiabilidad interna y externa, también se pueden detectar y eliminar los errores bruscos.

Para el estudio de la precisión de las observaciones que conforman la red, es de gran utilidad realizar un ajuste previo de la red, independientemente del sistema de referencia al que se quieran referir los resultados. Estos ajustes son idóneos para el estudio de las precisiones de las observaciones con medición satelital, y el punto ideal para llevar a cabo un proceso de detección y eliminación de posibles errores bruscos en las observaciones.

Una vez que se han eliminado los errores bruscos hay que referir los resultados de la red observada a un sistema de referencia determinado, es decir, conectarlos a un datum concreto. En este punto se plantean dos posibilidades: referir los resultados al mismo sistema de referencia, el sistema global WGS-84 o bien referirlos al sistema local, el GTM. Ambas posibilidades se consiguen introduciendo información en el ajuste.

El problema del uso de las técnicas de medición satelital al momento de referir las posiciones obtenidas al sistema GTM es que se obtienen alturas elipsoidales, por lo que se deben usar diferencias de ondulación del geoide para calcular alturas ortométricas. La diferencia entre alturas ortométricas y elipsoidales es importante por el hecho que con las técnicas de medición satelital se obtiene la dimensión de altura con mucha precisión, es por esto que es necesario la disponibilidad de ondulaciones del geoide precisas.

6.2. Solución en el Datum WGS-84

Las coordenadas determinadas con medición satelital se refieren al sistema de coordenadas en el que se dan las posiciones de los satélites, el sistema WGS-84. Estas posiciones se pueden transformar a otros sistemas de coordenadas una vez que se conozcan los parámetros de transformación entre ambos sistemas.

Es de destacar que el primer resultado de un trabajo geodésico-topográfico con tecnología de medición satelital es un poliedro de estaciones cuya posición relativa ha sido determinada con gran precisión. La orientación del poliedro estará implícita en los vectores observados, pero la traslación del poliedro sólo se tendrá con una precisión del metro o menor, aunque se pueden usar técnicas especiales para aumentar la precisión en la determinación de posiciones geocéntricas con medición satelital, siempre habrá una significativa diferencia entre la precisión obtenida en posicionamiento relativo y la obtenida en posicionamiento absoluto.

Esto se hará, una vez terminado el ajuste y eliminado los posibles errores bruscos, introduciendo en el ajuste las coordenadas globales conocidas de al menos una estación. Estas coordenadas se introducirán como observaciones, aumentando los grados de libertad del ajuste. En esta parte del procedimiento entra en juego el concepto de estación Fiducial, que son aquellas estaciones cuyas coordenadas son conocidas con una determinada precisión. Así, estas estaciones se pueden introducir como fijas, dándoles una gran importancia, o teniendo información de partida sobre la precisión de las mismas, de modo que en función de dicha precisión, se asignen los grados de importancia correspondientes.

Debido a que las posiciones obtenidas con la medición satelital son posiciones tridimensionales, la manera más fácil de realizar el ajuste es realizando el ajuste en coordenadas cartesianas, introduciendo las coordenadas de las estaciones conocidas. Como resultado se obtendrán las coordenadas de las estaciones, expresadas ya en el sistema WGS-84, junto con su precisión, que vendrá dada por la matriz de varianza-covarianza correspondiente. Dicha matriz se ve influida por:

- Geometría de las observaciones.
- Sistema de referencia usado, esto es por la precisión del marco de referencia.
- Modelo estocástico, es decir, precisiones de las observaciones de inicio.

La matriz de varianza-covarianza ²es expresada en el mismo sistema de referencia en el que se ha llevado el ajuste, es decir, en coordenadas cartesianas referidas al sistema WGS-84, a veces puede ser de interés referir los resultados a componentes elipsoidales para lo que hay que tomar en cuenta la relación entre los sistemas de coordenadas.

En resumen son dos los pasos a seguir para el ajuste de una red geoposicionada por medio de tecnología satelital, los pasos son los siguientes:

- Ajuste de la red para el control de calidad de las observaciones, detectando así los posibles errores bruscos y a la vez eliminándolos.

² Matriz varianza-covarianza: mide la relación bivariada entre más de dos variables.

- Ajuste de la red fiando el sistema de referencia con puntos cuyas coordenadas en el sistema WGS-84 son conocidas. Este ajuste se llevará a cabo siempre después de comprobar la calidad de las observaciones con el ajuste anterior.

6.3. Solución en la Proyección GTM

Otra alternativa a la solución en el sistema WGS-84, es obtener la solución en el sistema local correspondiente, en este caso es sistema GTM. En el planteamiento de este ajuste los parámetros a estimar serán las coordenadas GTM, por lo que para establecer el modelo matemático a utilizar hay que tomar en cuenta la transformación que relaciona el sistema global WGS-84 y el sistema GTM.

6.4. Procesamiento de datos

Los datos obtenidos de los vértices de las redes de apoyo catastral con las receptores de medición satelital no cumplen con la precisión requerida por el Registro de Información Catastral (RIC) en el Manual de Normas Técnicas y Procedimientos Catastrales debido a que por los errores que sufren no se recibe buena señal de los satélites durante todo el tiempo que dure la sesión, por esto es necesario realizar un procesamiento o posproceso de los datos donde se depuran los errores hasta lograr una precisión deseada o requerida. Para el procesamiento de los datos existen varios software, uno de ellos son los mencionados en el capítulo anterior. A continuación se describen los pasos a tomar en cuenta para el posproceso de los datos, esta descripción es válida para cualquier software de posproceso que se utilice.

- En el trabajo de campo es importante medir la altura de instrumento, se recomienda realizar esta medida dos veces una al inicio de la sesión y otra al final, esto con el objetivo de poder verificar que la altura medida es la correcta.
- Verificar que la identificación que se le coloca a cada vértice es la misma que se le asignó en campo para evitar confusiones futuras.
- Revisar la hora de inicio y de finalización de las sesiones para comprobar que las antenas receptoras hayan recibido señal de los satélites durante el tiempo necesario o el tiempo pedido.
- Descarga de efemérides precisas, los datos que proporcionan las antenas receptoras incluye un archivo de las efemérides, estas hay que descargarlas para poder tomar en cuenta este error y así mejorar la precisión del posicionamiento de los vértices.
- Conversión de archivos a formatos RINEX, las antenas receptoras proporcionan la información obtenida de los vértices en formatos distintos independientemente de la marca del instrumento, es por esto que es necesario convertir esta información a un formato universal. RINEX son las siglas en inglés de Receiver Independent Exchange, este es un formato de texto que almacena de manera estandarizada las lecturas proporcionadas por los receptores de sistemas de navegación satelital.
- Descarga de CORS, cuando no se cuentan con suficientes receptores que no se puede dejar uno como base o cuando no se cuenta con las coordenadas de algún vértice para darles coordenadas a los demás,

existe la opción de utilizar la Estación de Referencia de Operación Continua, conocida por sus siglas en inglés como CORS, las cuales la proporciona el National Geodesic Survey (NGS) en su página Web (<http://www.ngs.noaa.gov>) y su descarga es gratuita para cualquier usuario.

- Importar puntos al software, luego de haber descargado la información del receptor al computador y de haber descargado la CORS, en caso de ser necesaria, se procede a importar los puntos al software. El software automáticamente relaciona los puntos que estuvieron recibiendo información de los satélites al mismo tiempo por medio de una línea base, estos casos se producen entre los receptores bases y los vértices de las redes o entre las CORS y los vértices de las redes.
- Ingreso de coordenadas al receptor base, luego de haber importado los puntos al se procede a ingresar las coordenadas del receptor base ya que de esta manera es como el programa va a calcular las coordenadas de los vértices amarrados a esa base por medio de la triangulación. Si se está utilizando una CORS ya no es necesario ingresarle las coordenadas ya que el archivo de descarga de la CORS ya incluye sus coordenadas.
- Manipulación de los satélites con señal pobre, debido a que sin realizar el posproceso, la precisión que se obtiene con los receptores no cumplen con las precisiones solicitadas por el Manual de normas técnicas y procedimientos catastrales del RIC, se procede a analizar los satélites que no están dando buena señal y están afectando a la precisión y luego se decide si se elimina el satélite del cálculo o si solamente se depuran los minutos en que no dio buena señal. Los

satélites pueden estar dando señal pobre por obstrucciones como edificios o árboles, por colocar los receptores cerca de áreas refractivas como el agua, entre otros.

- Cálculo de coordenadas de los vértices, luego de haber depurado los errores en los satélites, el software realiza los cálculos para encontrar las coordenadas de cada uno de los vértices, estas coordenadas se pueden obtener en la proyección GTM o pueden ser coordenadas geográficas.

7. EJEMPLO DE APLICACIÓN: DISEÑO DE UNA RAC2 EN EL MUNICIPIO DE SAN DIEGO, ZACAPA

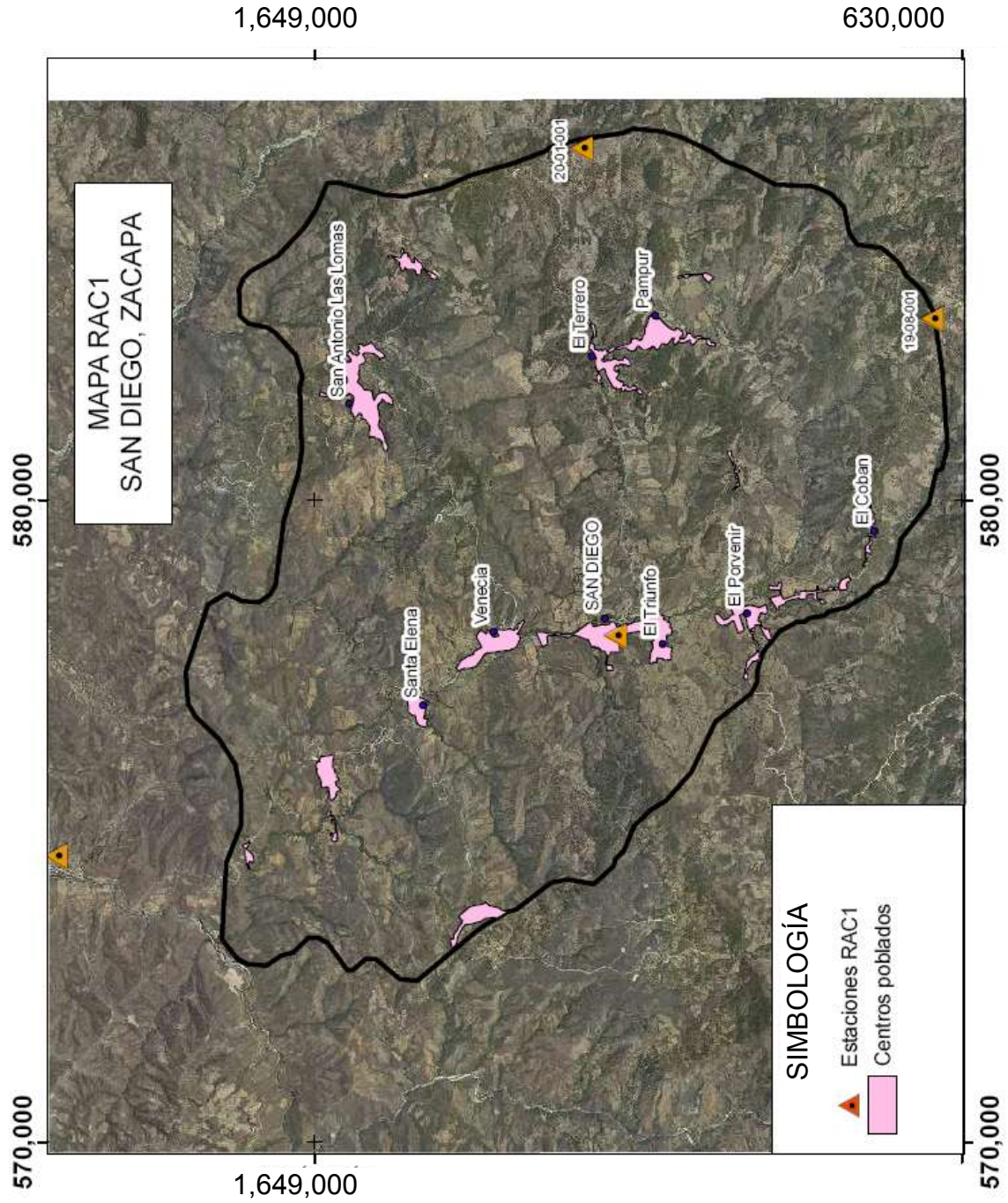
Para obtener un mejor entendimiento de los procesos para elaborar una Red de Apoyo Catastral de segundo orden, RAC2, se describirá a continuación un ejemplo de dicha red, la cual se diseñará para el municipio de San Diego que pertenece al departamento de Zacapa.

Como primer paso es necesario conocer cuáles son los centros poblados del municipio ya que la RAC2 se ubicará solamente en los centros poblados para que estos sean de fácil acceso para los futuros usuarios. Estos centros poblados los puede proporcionar el RIC o bien se pueden determinar cuáles son observándolos en las ortofotos del lugar, ya que en ellas se puede apreciar las áreas pobladas y las despobladas y así marcar con una poligonal estos lugares.

Luego es necesario localizar los vértices de la Red de Apoyo Catastral de primer orden, RAC1, ya que a partir de esta red es que sale la RAC2 por lo que su localización es fundamental.

A continuación se muestra un mapa con la ubicación de los centros poblados y las RAC1 de San diego, Zacapa ubicados sobre una ortofoto.

Figura 9. RAC1 en San Diego, Zacapa



Fuente: elaboración propia, utilizando el programa ArcGIS.

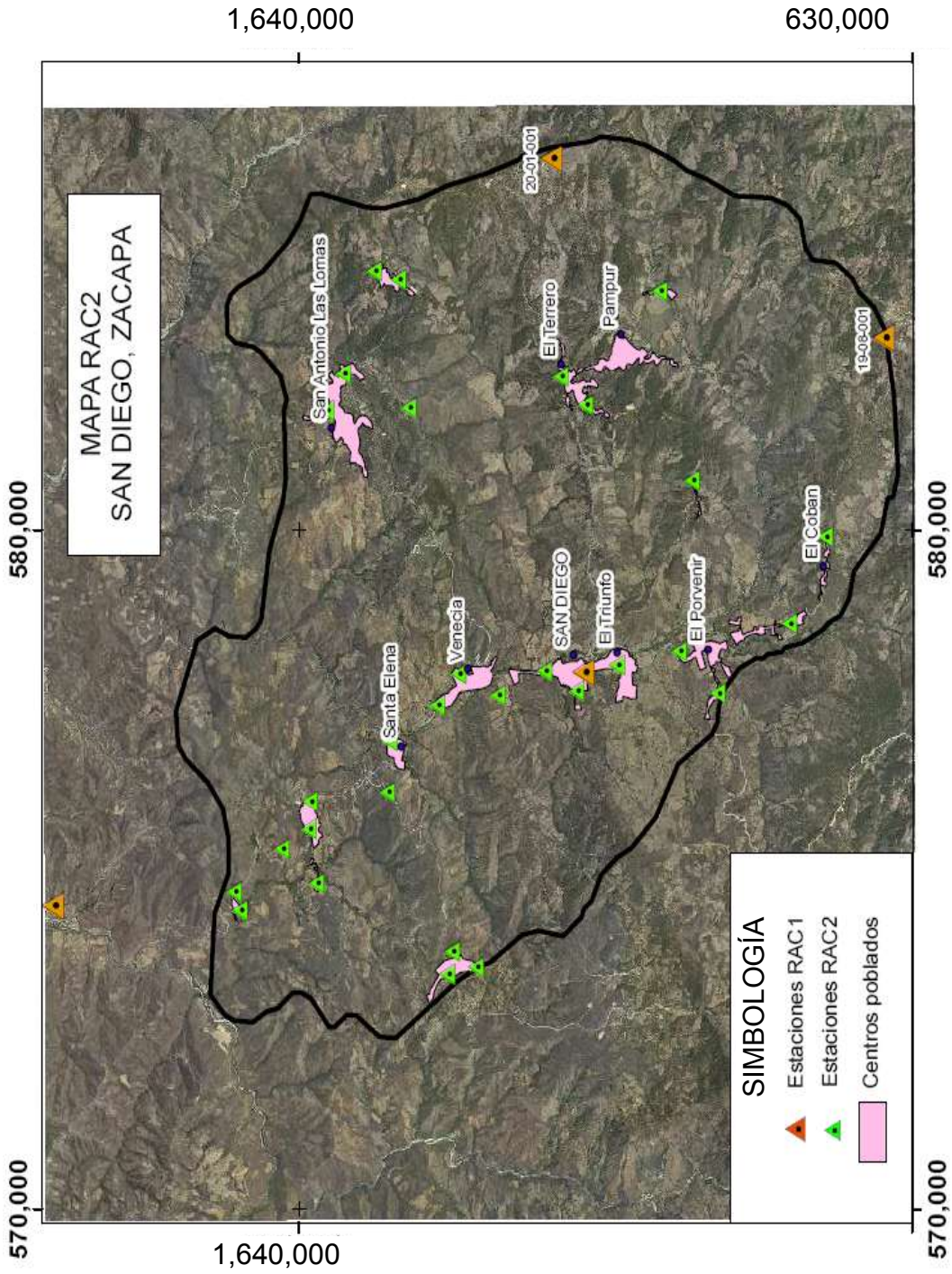
Luego de haber ubicado los centros poblados y los vértices RAC1 se procede a diseñar las redes RAC2 tomando en cuenta que los vértices de la red deben respetar un rango el cual varía entre 250 metros y 7 kilómetros entre sí. También es necesario dejar por lo menos 2 vértices intervisibles entre sí ya que como se mencionó anteriormente a partir de la RAC2 se procederá a levantar la RAC3, la cual saldrá a partir de los puntos intervisibles de la RAC2. Mientras más puntos intervisibles entre sí se logren dejar más fácil será realizar la RAC3 pero debido a la topografía quebrada de los terrenos es muy complicado solamente es obligatoria una línea intervisible.

Debido a que los vértices de la RAC2 solamente se ubicarán en los centros poblados, es necesario realizar varias redes independientes debido a que si fuera una sola red se estaría dañando la geometría y no se podría cumplir con la distancia máxima de 7 kilómetros entre vértices.

Para el diseño de las redes es importante estar seguro donde se van a colocar los vértices de las redes, y los lugares óptimos son las escuelas, cementerios, centros de salud y todos los lugares públicos en donde cualquier usuario pueda llegar y no molestar a nadie para utilizar algún vértice.

A continuación se muestra un mapa con el diseño de las RAC2 para el municipio de San Diego, Zacapa.

Figura 10. Diseño de RAC2 en San Diego, Zacapa



Fuente: elaboración propia, utilizando el programa ArcGIS.

En la página 101 del Manual de Normas Técnicas y Procedimientos Catastrales del RIC se observa cómo se realiza la codificación tanto de la RAC1 como de la RAC2. La codificación se realiza de la siguiente manera:

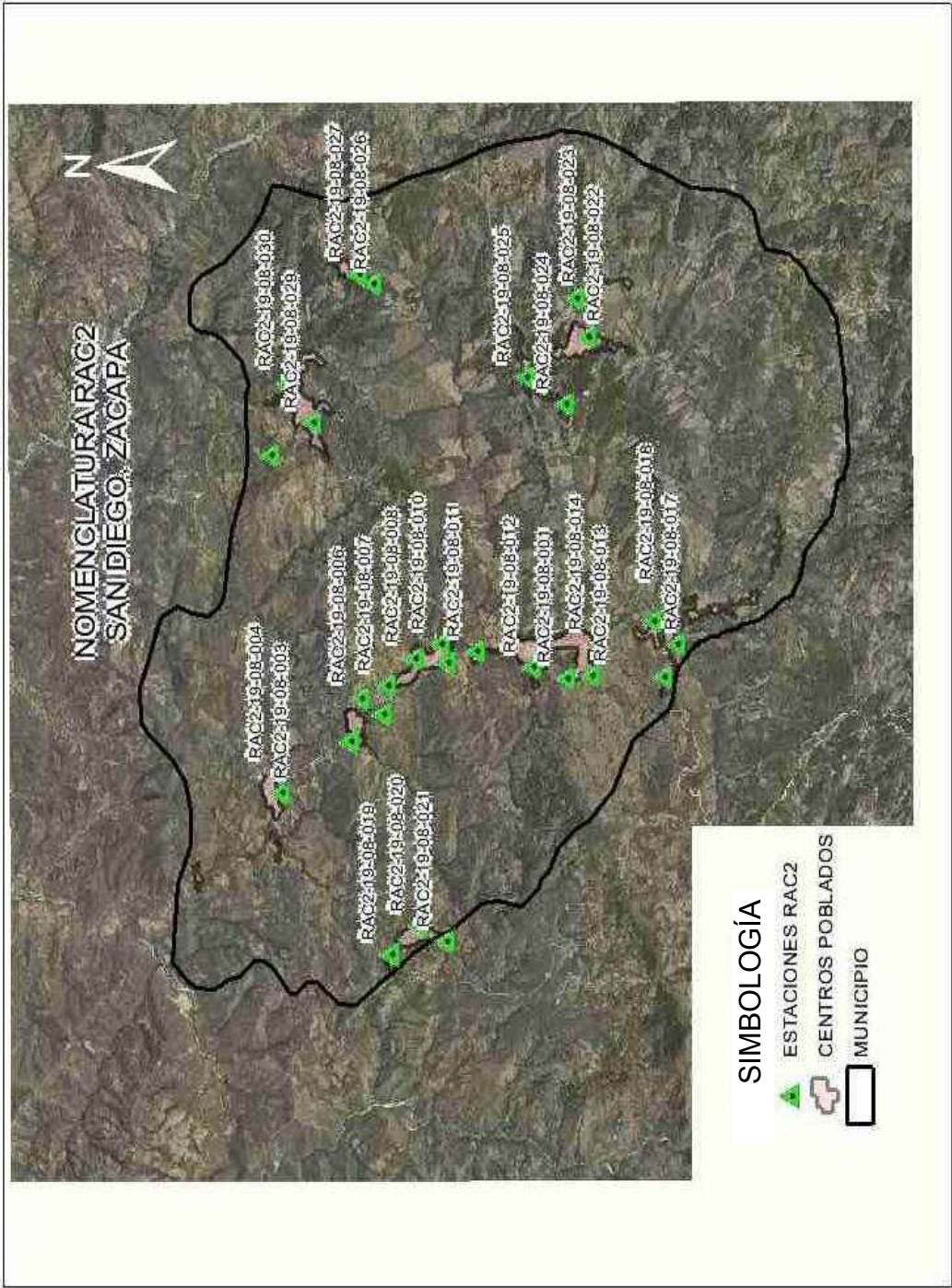


Donde:

- a = en este espacio se coloca el orden de la red a la que pertenece, en este caso sería 2 ya que es una RAC2.
- b = en este espacio se especifica el código del departamento en el que está ubicado el vértice de la red.
- c = en este espacio se especifica el código del municipio en el que está ubicado el vértice de la red.
- d = en este espacio se coloca el correlativo correspondiente al vértice dentro del departamento y municipio.

A continuación se muestra el mapa con la ubicación de los vértices de la RAC2 con su respectiva nomenclatura.

Figura 11. Nomenclatura de RAC2 en San Diego, Zacapa



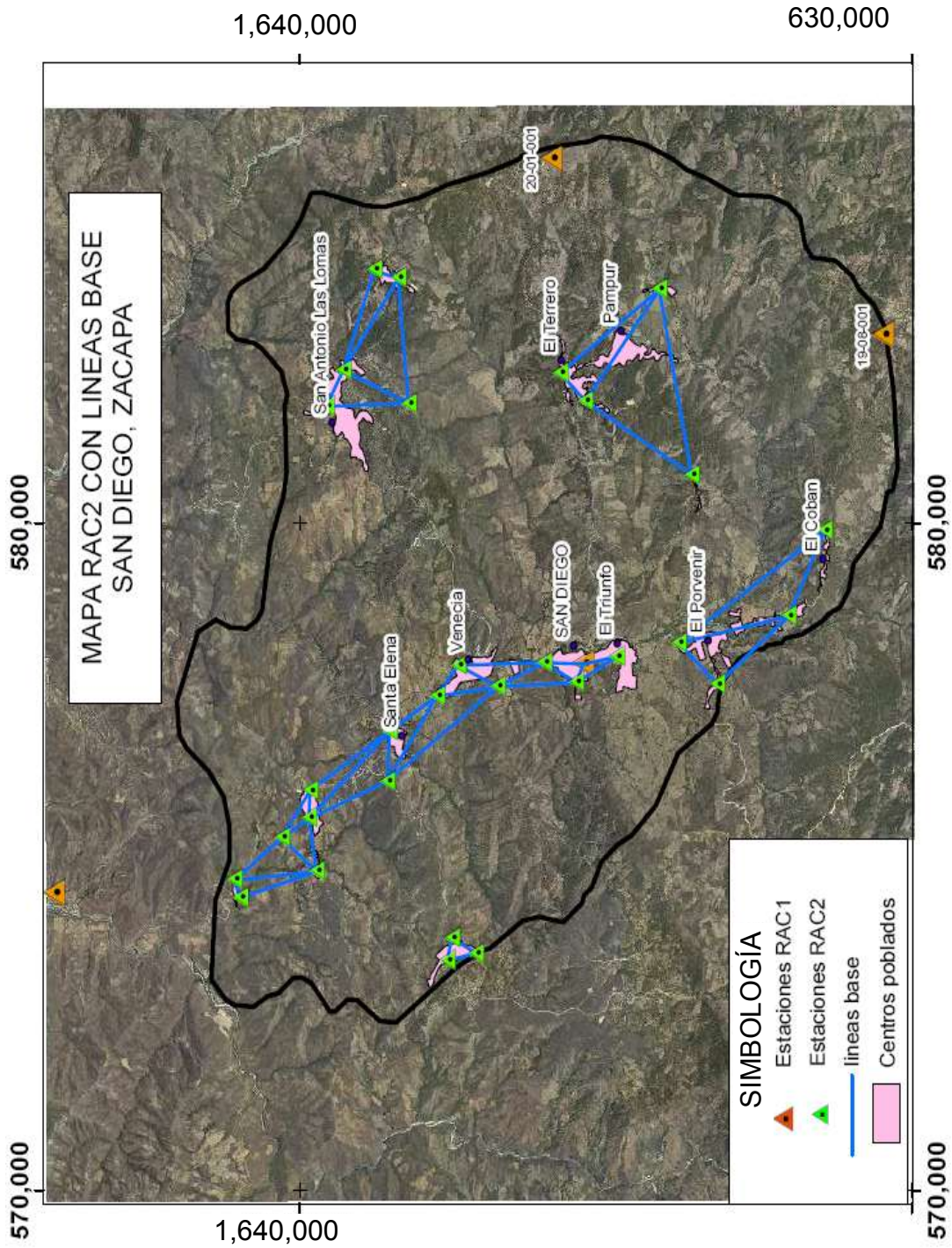
Fuente: elaboración propia, utilizando el programa ArcGIS.

Al finalizar con la ubicación y la codificación de los vértices, se procede a unir los vértices por medio de unas líneas base con las cuales se puede observar si la triangulación de las redes es la óptima. Al tener las líneas base, se pueden realizar cambios de ubicación de vértices con el objetivo de formar triángulos lo más cercano posible a un triángulo equilátero, por supuesto que es demasiado difícil dejar un triángulo equilátero pero la idea es acercarlos lo más posible a uno.

Luego de haber aceptado la geometría de las redes, el siguiente paso es analizar de que RAC1 saldrán las líneas de amarre, estas líneas sirven para amarrar la RAC2 ya que el Manual de Normas Técnicas y Procedimientos Catastrales del RIC especifica que las RAC2 se derivan de la RAC1 y que se necesitan por lo menos 2 vértices RAC1 para amarrar cada RAC2. De cada vértice RAC1 salen dos líneas de amarre con el objetivo de mantener la triangulación en el proceso, por lo que cada red de segundo orden debe de contener por lo menos 4 líneas de amarre.

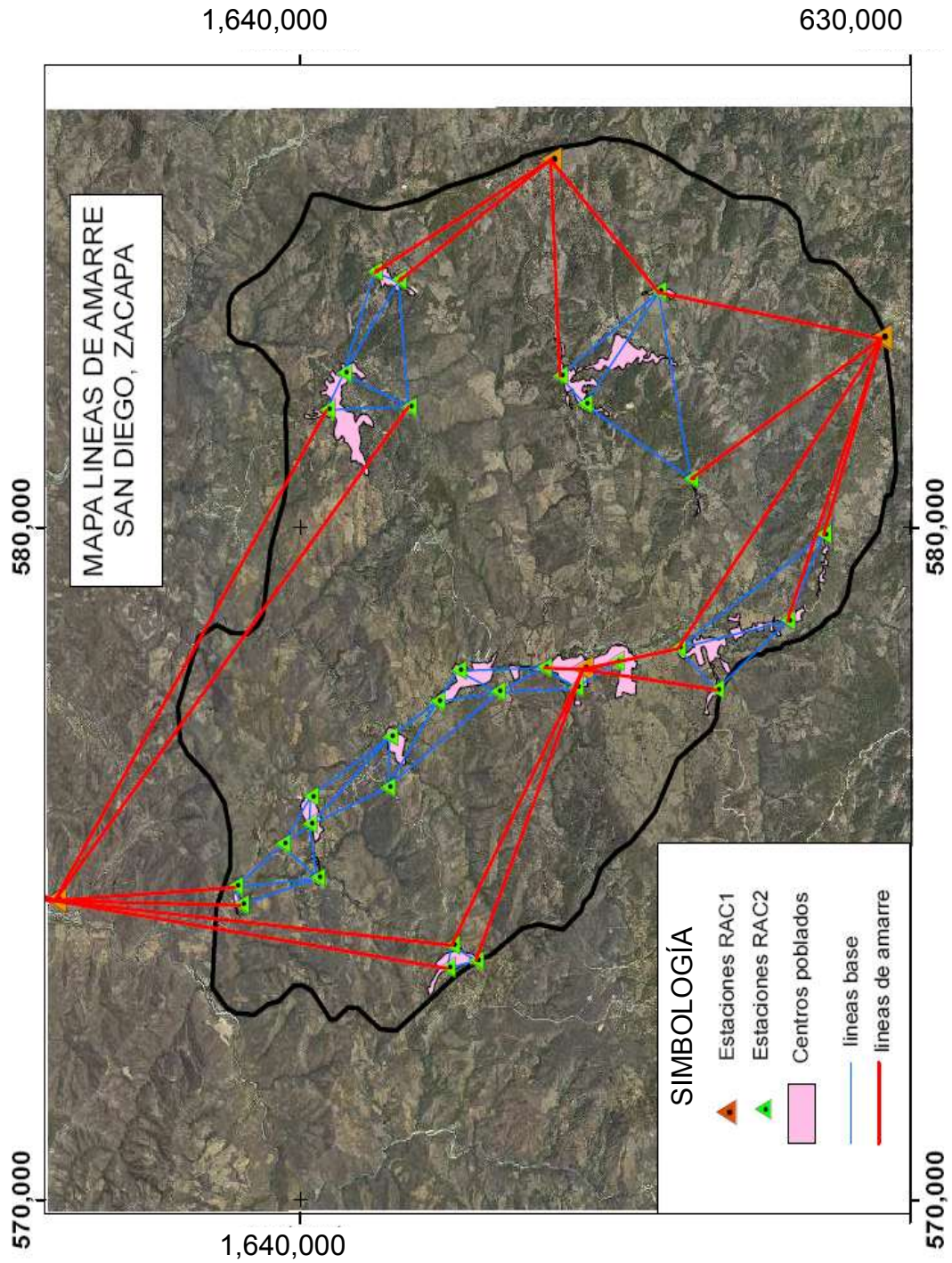
A continuación se muestran dos mapas, el primero contiene las líneas base entre los vértices de las redes, en donde se puede observar la geometría y que la triangulación cubre los centros poblados. En el segundo mapa se pueden apreciar las líneas de amarre entre RAC1 y RAC2, se observa que cada red de segundo orden es amarrada por dos vértices de la red superior.

Figura 12. Líneas base de RAC2 en San Diego, Zacapa



Fuente: elaboración propia, utilizando el programa ArcGIS.

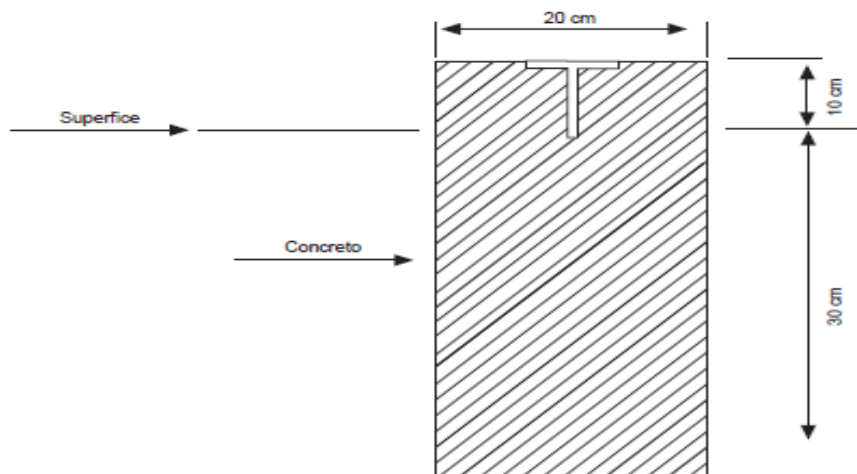
Figura 13. Líneas de amarre entre RAC, San Diego, Zacapa



Fuente: elaboración propia, utilizando el programa ArcGIS.

Con los pasos anteriores se finaliza el trabajo de diseño y se procede a iniciar el trabajo en campo. El primer paso en campo es localizar las coordenadas de los vértices y fundir los monumentos de cada vértice, estos monumentos para la RAC2 son unas bases de concreto de 20 * 20 centímetros se sección y tienen una altura de 40 centímetros de los cuales solamente sobresalen 10 centímetros de la superficie del suelo.

Figura 14. **Monumento RAC2**



Fuente: Manual de normas técnicas y procedimientos catastrales del RIC, p. 51.

Cada monumento se identifica con una ficha de bronce de 7 centímetros de diámetro la cual se coloca en el centro de la base y contiene la siguiente información:

- Código del vértice
- Fecha de geoposicionamiento
- Marca central (x)
- Nombre del RIC

Figura 15. **Ficha de bronce**



Fuente: kilómetro 150, aldea El Triunfo en San Diego, Zacapa.

El RIC solicita obtener fotos del lugar antes y después de haber fundido cada monumento y solicita una foto hacia al Norte y otra hacia el Este en ambos casos. A continuación se muestran unas fotos de un vértice RAC2 como está normado por el RIC.

Figura 16. **Vista al norte**



Fuente: kilómetro 150, aldea El Triunfo en San Diego, Zacapa.

Figura 17. **Vista al norte con el monumento fundido**



Fuente: kilómetro 150, aldea El Triunfo en San Diego, Zacapa.

Figura 18. **Vista al este**



Fuente: kilómetro 150, aldea El Triunfo en San Diego, Zacapa.

Figura 19. **Vista al este con el monumento fundido**



Fuente: kilómetro 150, aldea El Triunfo en San Diego, Zacapa.

Al tener el monumento fundido se procede a realizar el geoposicionamiento del vértice como se muestra a continuación.

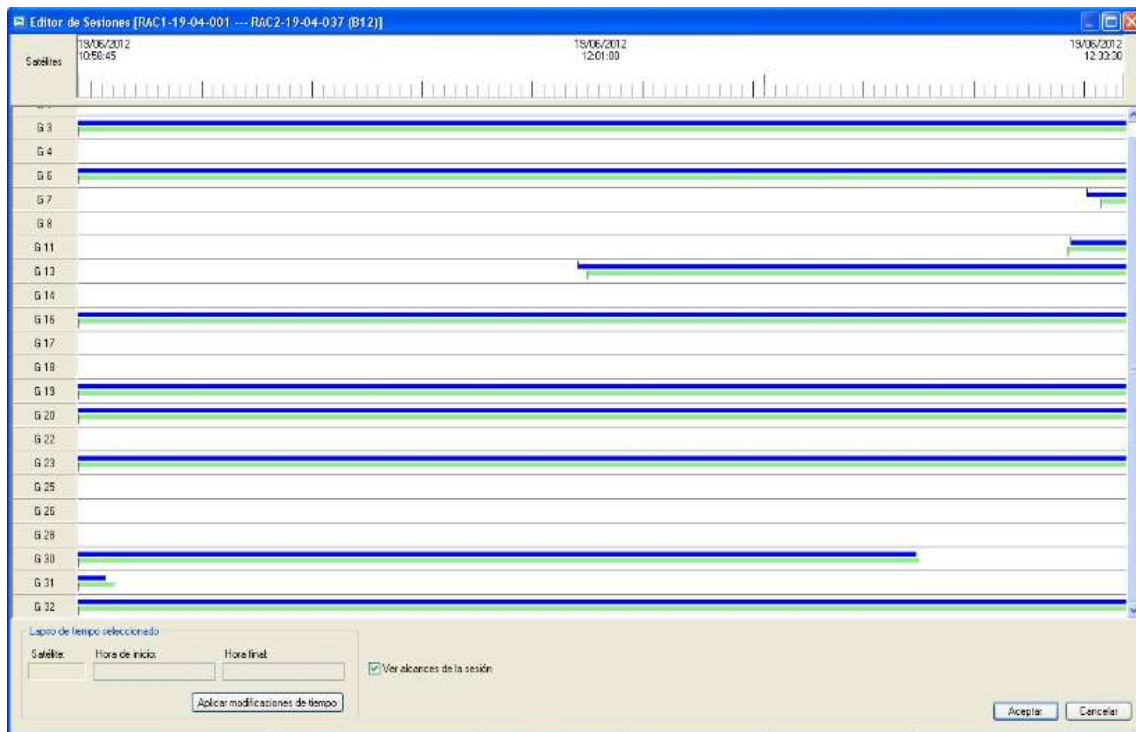
Figura 20. **Receptor colocado sobre el vértice**



Fuente: kilómetro 150, aldea el Triunfo en San Diego, Zacapa.

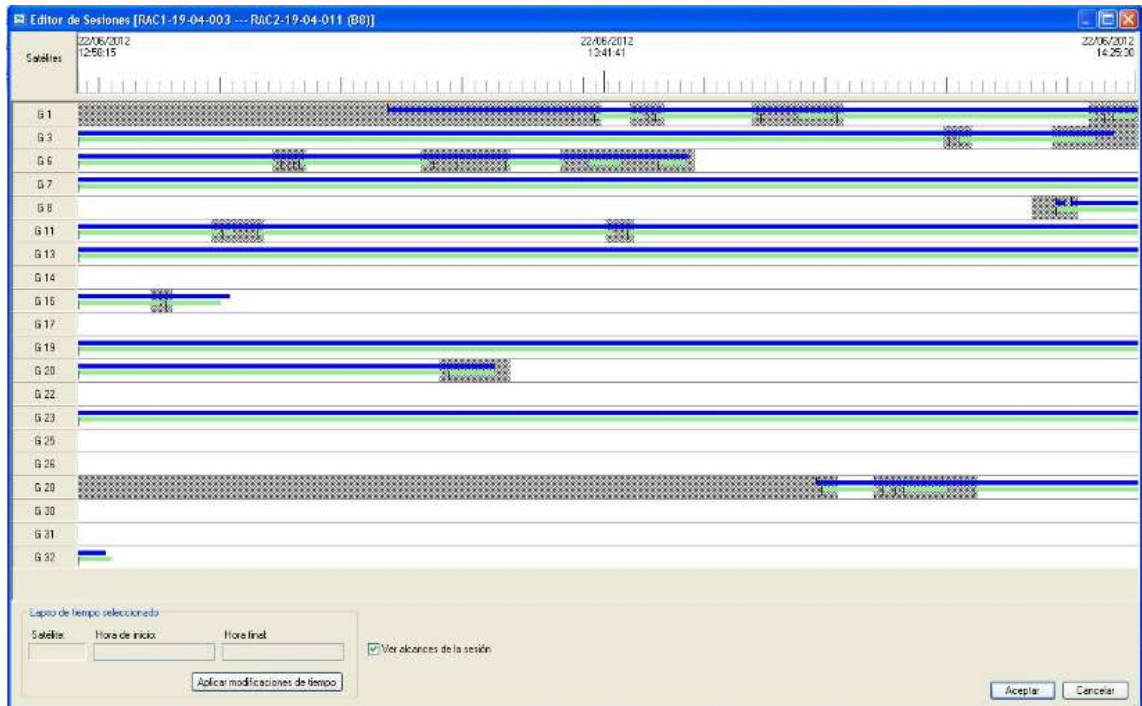
Luego de la realización del Geoposicionamiento se procede al trabajo de posproceso, en donde se depura la información errónea que transmitieron los satélites para lograr cumplir con las tolerancias permitidas. En la figura 16 se muestra las señales transmitidas por los satélites y a continuación en la figura 17 se muestra la información depurada de los satélites. El posproceso se realizó con el programa Trimble Bussiness Center.

Figura 21. Información de satélites sin depurar



Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Trimble Bussiness Center.

Figura 22. Información de satélites depurada



Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Trimble Bussiness Center.

La forma de depurar los períodos de mala señal de los satélites es simplemente seleccionando dichas partes y automáticamente el programa ya no toma en cuenta esos periodos para el Geoposicionamiento.

Al haber depurado la señal de los satélites se proceder a analizar la lista de los vectores en donde se observa la calidad de la línea dependiendo de la precisión con la cual se obtuvo. En la siguiente tabla se muestra la lista de los vectores de la RAC2 del municipio de San diego, Zacapa.

Tabla III. Lista de vectores de la RAC2 de San Diego, Zacapa

ID del punto de origen	Al ID punto	Tipo de solución	Hora de inicio	Duración	Precisión h (Metro)	Precisión v (Metro)	Dist. elip. (Metro)
RAC2-19-08-005	RAC2-19-08-006	Fija	26/01/2012 8:59:15	01:01:15	0,001	0,004	686,454
RAC2-19-08-005	RAC2-19-08-006	Fija	26/01/2012 10:25:00	00:46:30	0,003	0,007	686,450
RAC2-19-08-005	RAC2-19-08-003	Fija	28/01/2012 7:27:25	01:08:20	0,005	0,006	1391,284
RAC2-19-08-002	RAC2-19-08-007	Fija	26/01/2012 9:31:45	01:46:45	0,001	0,002	429,383
RAC2-19-08-002	RAC2-19-08-007	Fija	26/01/2012 11:44:30	00:48:45	0,002	0,002	429,382
RAC2-19-08-002	RAC2-19-08-004	Fija	26/01/2012 9:07:45	01:05:00	0,003	0,007	1955,292
RAC2-19-08-002	RAC2-19-08-006	Fija	26/01/2012 9:07:45	00:52:45	0,002	0,004	438,004
RAC2-19-08-002	RAC2-19-08-006	Fija	26/01/2012 10:20:45	00:50:45	0,003	0,006	438,000
RAC2-19-08-002	RAC2-19-08-008	Fija	26/01/2012 11:44:30	00:49:00	0,002	0,003	1006,234
RAC2-19-08-002	RAC2-19-08-008	Fija	26/01/2012 10:58:00	00:21:00	0,004	0,005	1006,239
RAC2-19-08-004	RAC2-19-08-006	Fija	26/01/2012 8:59:15	01:01:15	0,003	0,007	1786,931
RAC2-19-08-004	RAC2-19-08-003	Fija	28/01/2012 7:27:25	01:08:20	0,003	0,007	300,294
RAC2-19-08-007	RAC2-19-08-008	Fija	26/01/2012 11:24:00	01:09:15	0,002	0,002	624,907
RAC2-19-08-007	RAC2-19-08-008	Fija	26/01/2012 10:58:00	00:20:30	0,003	0,004	624,912
RAC2-19-08-007	RAC2-19-08-009	Fija	26/01/2012 11:24:00	01:09:15	0,004	0,005	1047,701
RAC2-19-08-007	RAC2-19-08-005	Fija	26/01/2012 10:25:00	00:52:30	0,002	0,004	1047,520
RAC2-19-08-007	RAC2-19-08-005	Fija	26/01/2012 9:31:45	00:47:30	0,002	0,006	1047,530
RAC2-19-08-007	RAC2-19-08-004	Fija	26/01/2012 9:31:45	00:41:00	0,003	0,009	2249,435

Continuación de la tabla III.

ID del punto de origen	Al ID punto	Tipo de solución	Hora de inicio	Duración	Precisión h (Metro)	Precisión v (Metro)	Dist. elip. (Metro)
RAC2-19-08-008	RAC2-19-08-005	Fija	26/01/2012 10:58:00	00:19:30	0,004	0,006	1666,447
RAC2-19-08-008	RAC2-19-08-009	Fija	26/01/2012 11:19:30	01:13:45	0,003	0,004	534,322
RAC2-19-08-008	RAC2-19-08-009	Fija	26/01/2012 13:02:15	00:48:30	0,003	0,006	534,326
RAC2-19-08-008	RAC2-19-08-006	Fija	26/01/2012 10:58:00	00:13:30	0,005	0,009	1087,239
RAC2-19-08-009	RAC2-19-08-012	Fija	26/01/2012 14:19:00	01:06:15	0,006	0,009	1431,125
RAC2-19-08-009	RAC2-19-08-010	Fija	26/01/2012 13:01:30	00:48:30	0,002	0,005	288,905
RAC2-19-08-009	RAC2-19-08-011	Fija	26/01/2012 14:19:45	00:51:30	0,006	0,008	517,540
RAC2-19-08-009	RAC2-19-08-011	Fija	26/01/2012 13:02:00	00:48:45	0,007	0,010	517,538
RAC2-19-08-009	RAC2-19-08-002	Fija	26/01/2012 11:44:30	00:48:45	0,012	0,016	1322,883
RAC2-19-08-012	RAC2-19-08-013	Fija	26/01/2012 15:30:45	00:58:30	0,002	0,011	989,022
RAC2-19-08-012	RAC2-19-08-001	Fija	26/01/2012 15:30:45	00:59:45	0,002	0,010	590,651
RAC2-19-08-012	RAC2-19-08-011	Fija	26/01/2012 14:19:45	00:51:30	0,007	0,012	967,132
RAC2-19-08-012	RAC2-19-08-014	Fija	26/01/2012 14:26:45	00:58:30	0,003	0,006	1130,593
RAC2-19-08-012	RAC2-19-08-014	Fija	26/01/2012 15:32:15	00:58:15	0,002	0,010	1130,590
RAC2-19-08-010	RAC2-19-08-008	Fija	26/01/2012 13:02:15	00:47:45	0,003	0,006	482,714
RAC2-19-08-010	RAC2-19-08-011	Fija	26/01/2012 13:02:00	00:48:00	0,005	0,008	593,391
RAC2-19-08-011	RAC2-19-08-008	Fija	26/01/2012 13:02:15	00:48:30	0,007	0,011	1024,968
RAC2-19-08-014	RAC2-19-08-001	Fija	26/01/2012 15:32:15	00:59:30	0,002	0,006	718,210
RAC2-19-08-014	RAC2-19-08-013	Fija	28/01/2012 7:37:15	01:03:30	0,002	0,004	481,414

Continuación de la tabla III.

ID del punto de origen	Al ID punto	Tipo de solución	Hora de inicio	Duración	Precisión h (Metro)	Precisión v (Metro)	Dist. elip. (Metro)
RAC2-19-08-028	RAC2-19-08-029	Fija	27/01/2012 13:16:00	00:59:25	0.005	0.007	865.066
RAC2-19-08-029	RAC2-19-08-027	Fija	27/01/2012 11:59:15	01:11:45	0.003	0.058	2389.198
RAC2-19-08-029	RAC2-19-08-027	Fija	27/01/2012 13:20:45	00:55:30	0.005	0.007	2389.197
RAC2-19-08-029	RAC2-19-08-026	Fija	27/01/2012 12:04:30	01:06:30	0.002	0.017	2330.850
RAC2-19-08-029	RAC2-19-08-026	Fija	27/01/2012 13:19:45	00:56:30	0.003	0.005	2330.850
RAC2-19-08-029	RAC2-19-08-030	Fija	27/01/2012 12:05:45	01:04:30	0.002	0.004	733.948
RAC2-19-08-029	RAC2-19-08-030	Fija	27/01/2012 13:16:15	01:00:00	0.003	0.005	733.949
RAC2-19-08-030	RAC2-19-08-026	Fija	27/01/2012 12:05:45	01:04:30	0.002	0.017	2047.379
RAC2-19-08-030	RAC2-19-08-026	Fija	27/01/2012 13:19:45	00:56:30	0.003	0.005	2047.377
RAC1-SAN DIEGO	RAC2-19-08-027	Fija	27/01/2012 11:59:15	01:16:00	0.005	0.079	6502.499
RAC2-19-08-027	RAC2-19-08-026	Fija	27/01/2012 12:04:30	01:10:00	0.003	0.006	294.238
RAC2-19-08-027	RAC2-19-08-026	Fija	27/01/2012 13:20:45	00:59:30	0.004	0.005	294.237
RAC2-19-08-027	RAC2-19-08-030	Fija	27/01/2012 12:05:45	01:04:30	0.004	0.083	2017.642
RAC2-19-08-027	RAC2-19-08-030	Fija	27/01/2012 13:20:45	00:55:30	0.003	0.006	2017.640
RAC1-SAN DIEGO	RAC2-19-08-026	Fija	27/01/2012 12:04:30	01:10:00	0.003	0.026	6247.222
RAC1-SAN DIEGO	RAC2-19-08-026	Fija	27/01/2012 13:19:45	01:01:45	0.005	0.021	6247.213
RAC2-19-08-027	RAC2-19-08-028	Flotante	27/01/2012 12:08:55	01:01:30	0.015	0.145	3134.814

Continuación de la tabla III.

ID del punto de origen	Al ID punto	Tipo de solución	Hora de inicio	Duración	Precisión h (Metro)	Precisión v (Metro)	Dist. elip. (Metro)
RAC2-19-08-022	RAC2-19-08-024	Fija	27/01/2012 15:28:15	01:02:00	0.003	0.009	1096.821
RAC2-19-08-022	RAC2-19-08-024	Fija	27/01/2012 16:36:00	00:59:45	0.003	0.006	1096.836
RAC2-19-08-022	RAC2-19-08-025	Fija	27/01/2012 15:25:45	01:04:30	0.002	0.008	1193.880
RAC2-19-08-022	RAC2-19-08-025	Fija	27/01/2012 16:37:15	00:58:30	0.002	0.004	1193.878
RAC2-19-08-023	RAC2-19-08-022	Fija	27/01/2012 15:18:45	01:11:30	0.003	0.012	616.772
RAC2-19-08-023	RAC2-19-08-024	Fija	27/01/2012 15:28:15	01:03:00	0.003	0.012	1629.269
RAC2-19-08-023	RAC2-19-08-025	Fija	27/01/2012 15:25:45	01:05:30	0.003	0.011	1459.232
RAC2-19-08-023	RAC2-19-08-025	Fija	27/01/2012 16:37:15	00:59:15	0.004	0.007	1459.235
RAC1-SAN DIEGO	RAC2-19-08-025	Fija	27/01/2012 15:25:45	01:06:15	0.003	0.034	4194.551
RAC1-SAN DIEGO	RAC2-19-08-025	Fija	27/01/2012 16:37:15	00:20:45	0.004	0.008	4194.551
RAC2-19-08-025	RAC2-19-08-024	Fija	27/01/2012 15:28:15	01:03:30	0.002	0.006	782.191
RAC2-19-08-025	RAC2-19-08-024	Fija	27/01/2012 16:37:15	00:59:30	0.003	0.005	782.196
RAC1-SAN DIEGO	RAC2-19-08-024	Fija	27/01/2012 15:28:15	01:03:30	0.011	0.153	3797.198
RAC1-SAN DIEGO	RAC2-19-08-022	Fija	27/01/2012 15:18:45	01:11:30	0.003	0.032	4873.973
RAC1-SAN DIEGO	RAC2-19-08-022	Fija	27/01/2012 16:36:00	00:22:00	0.005	0.012	4873.977

Continuación de la tabla III.

ID del punto de origen	Al ID punto	Tipo de solución	Hora de inicio	Duración	Precisión h (Metro)	Precisión v (Metro)	Dist. elip. (Metro)
RAC2-19-08-016	RAC2-19-08-017	Fija	28/01/2012 9:37:45	01:02:45	0,002	0,006	518,209
RAC2-19-08-016	RAC2-19-08-017	Fija	28/01/2012 10:48:00	01:01:45	0,002	0,003	518,208
RAC2-19-08-017	RAC2-19-08-015	Fija	28/01/2012 10:45:15	00:59:15	0,004	0,006	537,021
RAC2-19-08-18	RAC2-19-08-017	Fija	28/01/2012 10:46:00	01:03:45	0,002	0,003	773,561
RAC2-19-08-18	RAC2-19-08-017	Fija	28/01/2012 9:37:45	01:02:45	0,002	0,007	773,556
RAC2-19-08-016	RAC2-19-08-015	Fija	28/01/2012 10:48:00	00:56:30	0,004	0,005	856,951
RAC2-19-08-18	RAC2-19-08-015	Fija	28/01/2012 10:46:00	00:58:30	0,004	0,005	1255,636
RAC2-19-08-18	RAC2-19-08-015	Fija	28/01/2012 10:40:00	00:01:15	0,011	0,019	1255,612
RAC1-TERRERO	RAC2-19-08-18	Fija	28/01/2012 9:32:45	01:08:30	0,004	0,041	7205,386
RAC1-TERRERO	RAC2-19-08-18	Fija	28/01/2012 10:46:00	01:01:30	0,006	0,025	7205,375
RAC1-TERRERO	RAC2-19-08-016	Fija	28/01/2012 9:22:30	01:18:45	0,004	0,041	7505,532
RAC1-TERRERO	RAC2-19-08-016	Fija	28/01/2012 10:48:00	00:59:30	0,006	0,008	7505,528
RAC1-TERRERO	RAC2-19-08-017	Fija	28/01/2012 9:37:45	01:02:45	0,005	0,050	7964,146
RAC1-TERRERO	RAC2-19-08-017	Fija	28/01/2012 10:45:15	01:02:15	0,006	0,027	7964,138
RAC1-TERRERO	RAC2-19-08-015	Fija	28/01/2012 10:40:00	01:04:30	0,007	0,031	8355,392

Fuente: elaboración propia, utilizando el software Trimble Bussiness Center.

Luego de analizar los resultados y observar que todos los vértices cumplen con la precisión de 10mm + 2 partes por millón o 1 milímetro por kilómetro de la longitud de línea base, se procede a obtener las coordenadas de los vértices RAC2, estas pueden ser coordenadas GTM o geográficas. A continuación se muestran tablas con los dos tipos de coordenadas.

Tabla IV. **Coordenadas geográficas de la RAC2 de San Diego**

ID	Latitud (Global)	Longitud (Global)	Altura (Global) (Metro)
RAC2-19-08-001	N14°47'03.08533"	O89°46'48.25689"	716,91
RAC2-19-08-002	N14°48'42.74962"	O89°47'06.25618"	629,38
RAC2-19-08-003	N14°49'37.82159"	O89°47'46.39496"	769,92
RAC2-19-08-004	N14°49'39.18026"	O89°47'36.44916"	797,76
RAC2-19-08-005	N14°49'00.35603"	O89°47'20.28012"	676,16
RAC2-19-08-006	N14°48'54.58778"	O89°46'58.10115"	618,00
RAC2-19-08-007	N14°48'40.00850"	O89°46'52.17521"	634,488
RAC2-19-08-008	N14°48'25.21609"	O89°46'37.83726"	648,541
RAC2-19-08-009	N14°48'07.98113"	O89°46'40.17748"	625,494
RAC2-19-08-010	N14°48'10.97941"	O89°46'31.02063"	701,142
RAC2-19-08-011	N14°47'52.00767"	O89°46'34.70077"	632,832
RAC2-19-08-012	N14°47'21.47390"	O89°46'42.51858"	683,953
RAC2-19-08-013	N14°46'49.63473"	O89°46'47.31222"	761,649
RAC2-19-08-014	N14°46'46.25858"	O89°46'31.59243"	670,887
RAC2-19-08-015	N14°46'11.02843"	O89°46'47.80403"	777,266
RAC2-19-08-016	N14°46'16.25828"	O89°46'19.65856"	707,706
RAC2-19-08-017	N14°46'03.87738"	O89°46'31.42056"	716,76
RAC2-19-08-018	N14°46'08.12297"	O89°46'05.92579"	704,027
RAC2-19-08-019	N14°48'38.80582"	O89°49'08.80335"	968,238
RAC2-19-08-020	N14°48'23.12896"	O89°48'54.19803"	1003,64
RAC2-19-08-021	N14°48'08.54760"	O89°49'02.11456"	1029,199
RAC2-19-08-022	N14°46'51.57965"	O89°43'54.47592"	859,221
RAC2-19-08-023	N14°46'57.90356"	O89°43'34.90251"	893,101
RAC2-19-08-024	N14°47'03.36757"	O89°44'29.09444"	1027,401
RAC2-19-08-025	N14°47'24.85345"	O89°44'15.07597"	1039,216
RAC2-19-08-026	N14°48'47.37404"	O89°43'27.49432"	1140,262
RAC2-19-08-027	N14°48'55.36082"	O89°43'22.06871"	1170,952
RAC2-19-08-028	N14°49'42.81974"	O89°44'54.87236"	960,746
RAC2-19-08-029	N14°49'20.07549"	O89°44'37.82910"	970,824
RAC2-19-08-030	N14°49'33.12085"	O89°44'17.26830"	1040,558

Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Trimble Bussiness Center.

Tabla V. **Coordenadas GTM de la RAC2 de San Diego**

ID	Norte (Metro)	Este (Metro)	Elevación (Metro)
RAC2-19-08-001	1634907.976	577492.072	715,162
RAC2-19-08-002	1637969.055	576944.114	627,629
RAC2-19-08-003	1639657.682	575738.763	768,156
RAC2-19-08-004	1639700.372	576035.961	795,995
RAC2-19-08-005	1638508.787	576523.121	674,400
RAC2-19-08-006	1638333.635	577186.762	616,245
RAC2-19-08-007	1637886.164	577365.365	632,738
RAC2-19-08-008	1637432.954	577795.497	646,793
RAC2-19-08-009	1636903.077	577727.235	623,746
RAC2-19-08-010	1636996.101	578000.714	699,396
RAC2-19-08-011	1636412.721	577892.565	631,086
RAC2-19-08-012	1635473.629	577661.837	682,206
RAC2-19-08-013	1634494.715	577521.644	759,902
RAC2-19-08-014	1634392.474	577992.024	669,142
RAC2-19-08-015	1633308.252	577510.741	775,519
RAC2-19-08-016	1633471.683	578351.854	705,963
RAC2-19-08-017	1633090.067	578001.364	715,016
RAC2-19-08-018	1633223.009	578763.316	702,286
RAC2-19-08-019	1637836.449	573280.683	966,453
RAC2-19-08-020	1637356.013	573718.812	1001,861
RAC2-19-08-021	1636907.192	573483.490	1027,418
RAC2-19-08-022	1634571.611	582689.526	857,494
RAC2-19-08-023	1634767.963	583274.135	891,375
RAC2-19-08-024	1634930.351	581653.151	1025,670
RAC2-19-08-025	1635592.062	582070.077	1037,488
RAC2-19-08-026	1638132.922	583484.018	1138,541
RAC2-19-08-027	1638378.931	583645.378	1169,231
RAC2-19-08-028	1639827.947	580865.937	959,015
RAC2-19-08-029	1639130.698	581377.807	969,095
RAC2-19-08-030	1639533.685	581991.129	1038,833

Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Trimble Bussiness Center.

CONCLUSIONES

1. Las redes de apoyo catastral existentes son las RAC1, RAC2 y RAC 3, de estas solamente las primeras dos son georeferenciadas por equipo de medición satelital ya que la RAC3, es una poligonal realizada con estación total. La RAC1 ya fue establecida por el RIC por lo que solamente se puede proponer una metodología para la Red de Apoyo Catastral de segundo orden (RAC2).
2. Las coordenadas obtenidas para la RAC2 del municipio de San Diego, Zacapa en el ejemplo de aplicación, cumplen con las especificaciones del RIC debido a que los vectores de la red tienen una precisión menor a los 10 mm + 2 partes por millón o 1 milímetro por kilómetro de la longitud de línea base, que especifica el Manual de Normas Técnicas del RIC.
3. Los vértices de las redes se deben de colocar en lugares accesibles para facilitar y agilizar el trabajo, esto se puede realizar utilizando las ortofotos y la cartografía del área con las cuales se puede observar los lugares óptimos para colocar los vértices de las redes.
4. Para lograr una mejor precisión es importante cumplir con las condiciones del lugar donde se coloca cada vértice ya que si existen cuerpos reflectivos, árboles o líneas de alta tensión cerca del vértice, los satélites no van a lograr conectarse con el receptor ocasionando así una mala precisión en el posicionamiento. Para evitar estas situaciones se debe de realizar una ficha descriptiva de cada vértice.

5. Con la socialización se logra que las comunidades estén enteradas de los trabajos que se van a realizar y de esa manera se evitan conflictos entre la comunidad y los contratistas.
6. Luego que el RIC apruebe el diseño se procede a iniciar con el Geoposicionamiento, el primer paso es fundir los monumentos de cada vértice, luego se colocan los receptores tomando en cuenta que hay que darle redundancia a cada vértice para poder comprobar que si se están dando las coordenadas correctas.
7. Con el software de posproceso se logra depurar los intervalos de señal que están afectando a la precisión del posicionamiento de los vértices y de esa manera se obtienen datos más precisos.

RECOMENDACIONES

1. Al momento de diseñar las redes de apoyo catastral, es importante contar con las ortofotos más recientes debido a que con el rápido crecimiento de la población los lugares van sufriendo cambios, por lo que al tener las ortofotos más recientes se estará más apegado a la realidad.
2. Luego de aprobado el diseño de la red se procede con el trabajo de campo a iniciar con la fundición de los monumentos, pero antes de esto es importante saber si el RIC realizó el trabajo de socialización y si la comunidad está de acuerdo con los trabajos catastrales, esto con el objetivo de evitar problemas.
3. Es importante conocer el equipo con el que se va a trabajar, darle el mantenimiento necesario a los receptores ya que si algo en ellos está mal esto se verá reflejado en los resultados.
4. El Manual de normas técnicas de procedimientos catastrales del RIC indica el tiempo mínimo para que los receptores estén recibiendo señal de los satélites pero se recomienda dar aproximadamente 10 minutos más para garantizar que se van a obtener buenos resultados.
5. Debido a que en Guatemala se está viviendo el proceso catastral, es importante cumplir con las precisiones que se requiere en las redes de apoyo catastral ya que a partir de ellas se iniciará el catastro en cada comunidad.

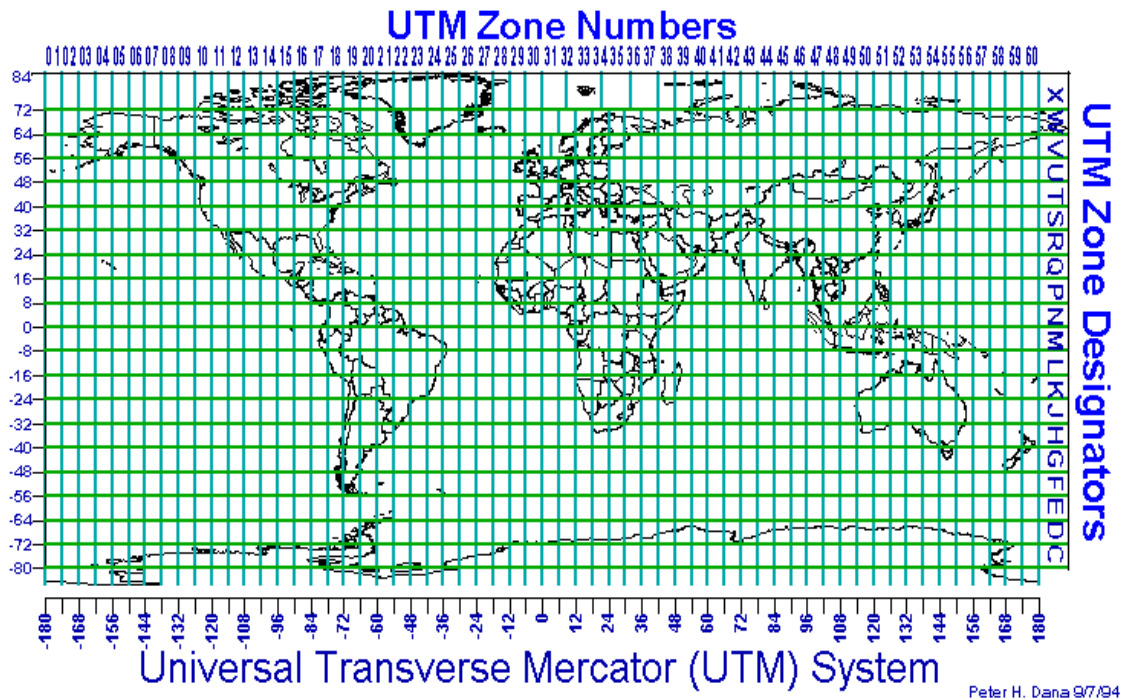
BIBLIOGRAFÍA

1. AGUILERA UREÑA, María Jesús. *Desarrollo de una metodología de cálculo de redes geodésicas observadas mediante GPS, análisis de la influencia de los métodos de cálculo en la precisión*. España: Universidad de Córdoba, 2001. 315 p.
2. DE GALIANA MINGOT, Tomás. *Pequeño Larousse de Ciencias y Técnicas*. París: Larousse, 1967. 1056 p.
3. Enciclopedia Salvat. Vol. 2, 5 y 13. Madrid: Salvat, 2004.
4. GARCÍA-PELAYO GROSS, Ramón; DURAND, Micheline. *Pequeño Larousse Español-Inglés, English-Spanish*. París: Larousse, 1976. 1079 p.
5. HAYNES, Jr. Carl; SIMMNS, J.W. *Construction with Surface Bonding*. U.S. Washington, D.C.: Department of Agriculture: Agriculture Information Bulletin No. 374. 1974. 18 p.
6. *Manual de normas técnicas y procedimientos catastrales del RIC*. Guatemala: 18 de julio 2008. 362 p.
7. ROBB, Louis A. *Diccionario para Ingenieros Español-Inglés, Inglés-Español*. 2a. Nueva York: John Wiley and Sons, 1949. 664 p.

ANEXOS

Anexo 1. Zonas UTM

LEVANTAMIENTOS CATASTRALES EN LA PROYECCIÓN GTM 1er Congreso Nacional de Topografía, Geodesia y Catastro

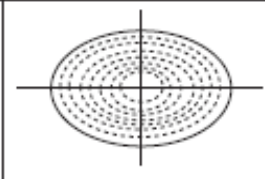


Guatemala, 19 de Septiembre de 2,008



Fuente: Manual de normas técnicas y procedimientos catastrales del RIC, p. 96.


Anexo 3. **Formulario de control de observaciones GPS**

CONTROL DE OBSERVACIONES GPS				
MONUMENTACIÓN Y GEOPOSICIONAMIENTO DE PUNTOS DE LA RAC 1 Y 2				
Departamento			Municipio	
Fecha			Estación	
Día GPS		Sesión	Código	
Receptor			N°	
Antena			N°	
Altura de la antena antes (m)	1		2	
Altura de la antena después (m)	1		2	
Altura promedio (m)				
Medido a:				
	Hora Local	Hora GPS	Duración	
Hora de Inicio				
Hora Final				
Parámetros de Registro:				
Máscara de Elevación:		Int. Época:		
Croquis	Obstrucciones			
				
Observaciones:	_____			

Responsables:	_____	Firma:	_____	
	_____	Firma:	_____	
Revisado por:	_____	Firma:	_____	

Fuente: Manual de normas técnicas y procedimientos catastrales del RIC, p. 351.

Anexo 4. **Formulario de croquis de ubicación**

		REGISTRO DE INFORMACION CATASTRAL CROQUIS DE UBICACION DEL PUNTO	
ORDEN DEL PUNTO		CODIGO	
NOMBRE DEL PUNTO			
PROYECCION GTM	ESTE	NORTE	ALTURA ELIPSOIDAL
WGS 84	LONGITUD	LATITUD	
REFERENCIA 1	REFERENCIA 2	REFERENCIA 3	REFERENCIA 4
LOCALIZACION	DEPARTAMENTO		
	MUNICIPIO		
ACCESO			
CARTOGRAFICA CON PUNTO		CROQUIS DE PUNTO	
FOTOGRAFIA PANORAMICA CON ORIENTACION NORTE		FOTOGRAFIA PANORAMICA CON ORIENTACION ESTE	

Fuente: Manual de normas técnicas y procedimientos catastrales del RIC, p. 352.