



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

IDENTIFICACIÓN Y LEVANTAMIENTO
TOPOGRÁFICO DE INMUEBLES RÚSTICOS

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO GEOMÁTICO

PRESENTA

RICARDO ROSAS ÁLVAREZ



DIRECTOR DE TESIS: ING. ADOLFO REYES PIZANO

MÉXICO, D.F., CIUDAD UNIVERSITARIA

2013



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
COMITÉ DE TITULACIÓN
FING/DICyG/SEAC/UTIT/084/13

Señor
RICARDO ROSAS ÁLVAREZ
Presente.

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **ING. ADOLFO REYES PIZANO**, que aprobó este Comité, para que lo desarrolle usted conforme a la opción I. "**Titulación mediante tesis o tesina y examen profesional**", para obtener su título en **INGENIERIA GEOMÁTICA**.

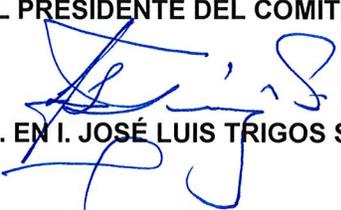
"IDENTIFICACIÓN Y LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DE INMUEBLES RÚSTICOS"

- INTRODUCCIÓN**
- I. **CONCEPTOS GENERALES DE TOPOGRAFÍA, GEODESIA Y CARTOGRAFÍA**
 - II. **SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL**
 - III. **IDENTIFICACIÓN Y LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DE INMUEBLES RÚSTICOS**
 - IV. **ANÁLISIS Y EXPOSICIÓN DE RESULTADOS**
 - V. **CONCLUSIONES**
- ANEXOS**
BIBLIOGRAFÍA

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

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

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria a 26 de Julio de 2013
EL PRESIDENTE DEL COMITÉ


M. EN I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ

JLTS/MTH*rvm

Agradecimientos

A mi mamá, Maricela Álvarez Corte y a mi hermana Mayra Perlett Rosas Álvarez, quienes siempre me han escuchado incondicionalmente, enseñándome a ver el lado positivo de la vida y porque sé que sin ellas esta tesis no existiría. Mamá, todo este trabajo y esfuerzo te lo dedico a ti.

A mi papá, Ricardo Rosas Rizo, quien siempre ha estado a nuestro lado. Por haberme brindado todos los medios para que terminara mis estudios y por darme la libertad de elegir esta bonita carrera.

Al Ing. Adolfo Reyes Pizano, mi director de tesis, a quien admiro y respeto mucho por ser un magnífico profesor, compañero y por compartirme siempre sus conocimientos. Muchas gracias Ingeniero, porque formó parte muy importante para que iniciara y terminara esta tesis, y por darme su confianza para que iniciara mi desarrollo profesional.

A mi tío, el Arq. Raúl Álvarez Corte, con quien comparto la mágica experiencia de haber formado parte de la UNAM, por tus valiosos consejos y pláticas, porque te dio mucho gusto que haya entrado a la Universidad y ahora que concluyo este ciclo me da mucho gusto compartirlo contigo.

A mis abuelitos, Agustín Álvarez Morante y Martha Corte Ramírez, y a mi tía, Martha Álvarez Corte, porque desde pequeño me apoyaron en mis estudios.

Muy especialmente al Ing. Gustavo Guerrero Martínez, por compartirme sus conocimientos y experiencias, le agradezco su paciencia y todas las pláticas que hemos tenido, en verdad he aprendido mucho de usted.

Al Ing. José Luis Méndez Náñez, quien me dio la oportunidad de formar parte del Grupo Acerero del Norte, iniciando mi desarrollo profesional y por haberme permitido usar los datos para elaborar esta tesis.

A todos los amigos y profesores que conocí en la UNAM, a los tertulianos, y en especial a Óscar Medina, a Delia Román y a Elizabeth Gama.

Gracias UNAM.

Índice

| | |
|--|-----------|
| Introducción | 1 |
| Capítulo 1. Conceptos generales de Topografía, Geodesia y Cartografía | 3 |
| 1.1 Topografía | 3 |
| 1.2 Geodesia | 4 |
| 1.2.1 Elipsoide | 5 |
| 1.2.2 Geoide | 7 |
| 1.2.3 Sistemas de alturas | 8 |
| 1.3 Sistema de coordenadas terrestres | 10 |
| 1.3.1 Sistema convencional terrestre | 11 |
| 1.3.2 Sistema ortogonal coordenado | 12 |
| 1.4 Cartografía | 13 |
| 1.4.1 Proyección cartográfica | 13 |
| 1.4.2 Proyección Universal Transversa de Mercator (UTM) | 14 |
| 1.5 Sistema de referencia y marco de referencia geodésico | 16 |
| 1.6 Red Geodésica Nacional Activa | 17 |
| Capítulo 2. Sistema de Posicionamiento Global | 19 |
| 2.1 Segmentos del sistema GPS | 19 |
| 2.1.1 Segmento espacial | 19 |
| 2.1.2 Segmento control | 21 |
| 2.1.3 Segmento usuario | 22 |
| 2.2 Funcionamiento del GPS | 22 |
| 2.2.1 Posicionamiento absoluto | 22 |
| 2.2.2 Posicionamiento relativo | 24 |

| | |
|---|-----------|
| 2.3 Fuentes de error en el GPS | 26 |
| 2.4 Levantamientos con el sistema GPS | 29 |
| 2.4.1 Receptores GPS topográficos y geodésicos | 29 |
| 2.4.2 Método GPS diferencial (DGPS) | 29 |
| 2.4.3 Posicionamiento estático | 30 |
| 2.4.4 Postproceso de datos GPS | 31 |
| 2.5 Modernización del GPS | 33 |
| Capítulo 3. Identificación y levantamiento topográfico de inmuebles rústicos | 35 |
| 3.1 Objetivos | 35 |
| 3.2 Estudio de la información topográfica recabada | 36 |
| 3.3 Levantamiento topográfico | 37 |
| 3.3.1 Equipo topográfico utilizado | 38 |
| 3.3.2 Caso A: Rancho de “Calabazas” | 39 |
| 3.3.3 Caso B: Terreno Cerca de Santa Anna | 42 |
| 3.4 Trabajo de gabinete | 46 |
| 3.4.1 Software utilizado | 46 |
| 3.4.2 Caso A: Rancho de “Calabazas” | 46 |
| 3.4.3 Caso B: Terreno Cerca de Santa Anna | 59 |
| Capítulo 4. Análisis y exposición de resultados | 69 |
| 4.1 Caso A: Rancho de “Calabazas” | 69 |
| 4.2 Caso B: Terreno Cerca de Santa Anna | 70 |
| Capítulo 5. Conclusiones | 72 |
| Anexos | 73 |
| Bibliografía | 91 |

Introducción

La identificación y levantamiento de inmuebles rústicos reviste de importancia porque es una práctica muy común en la Topografía. En algunos casos, tenemos las circunstancias ideales para identificarlos y levantarlos, pero en el caso expuesto en estas páginas carecemos de información topográfica indispensable, por lo que se propondrá una manera de solucionar este problema. Es muy relevante el correcto manejo del equipo topográfico y el correcto desarrollo de la metodología seleccionada, para que los resultados tengan un sustento irrefutable.

Dentro de los objetivos de esta propuesta se encuentran: estudiar las escrituras de los inmuebles para extraer datos topográficos y colindancias, identificar en campo los inmuebles y verificarlos con sus escrituras, darles una ubicación geográfica precisa para realizar los levantamientos, cálculos y planos correspondientes.

A través de estas páginas conoceremos la teoría, la técnica y el uso de diferentes herramientas que ofrece la Geomática, como es el posicionamiento GPS y la percepción remota, que nos ayudarán a reducir el tiempo en los trabajos de campo y gabinete, obtener mayor información del terreno y llegar a la precisión requerida para los fines que se persiguen con este trabajo.

La Topografía y la Geodesia son ciencias con un campo de acción específico, pero estrechamente relacionadas, gracias a ellas es posible utilizar sus métodos y técnicas para representar desde un inmueble hasta una ciudad o continente.

Es importante conocer cómo se relacionan las superficies de referencia geodésicas, es decir, los elipsoides y geoides, que son la base para determinar las coordenadas en la superficie terrestre.

Veremos las diferentes formas de representar las coordenadas de un punto sobre la tierra, ya sea en el elipsoide, el geoide, en una proyección cartográfica o en un sistema de coordenadas planas; bajo el sistema oficial en México, ITRF08 época 2010.

Parte importante de este trabajo es utilizar las técnicas de posicionamiento GPS, para ello se abordará un poco acerca de qué es el sistema de posicionamiento global y como obtiene las posiciones de puntos en la Tierra. Los levantamientos GPS llevados a cabo se determinaron con métodos y técnicas muy precisas, por lo tanto hablaremos del método de posicionamiento

diferencial GPS (DGPS) y la técnica de posicionamiento estático, realizados con receptores GPS geodésicos y topográficos.

Al terminar con el marco teórico relevante para esta tesis, desarrollado en los capítulos uno y dos; en el capítulo tres se revisará la información topográfica para cada inmueble rústico, explicando a detalle cuales son los factores de cada inmueble que determinaron el método de trabajo en campo y gabinete, así como la elección de trabajar sobre una imagen de satélite de alta resolución para identificar y levantar los inmuebles.

Fue importante explicar los trabajos de campo y gabinete: los métodos de levantamiento de líneas base; el análisis hecho para el postproceso de los datos de las observaciones GPS; la transformación de coordenadas geodésicas, poco prácticas para la Topografía, a un sistema de coordenadas ortogonal; la utilización de coordenadas ortogonales para trabajar en una imagen de satélite de alta resolución, determinando su ortogonalidad.

En el capítulo final analizaremos los resultados obtenidos para conocer si se logró cumplir con los objetivos de esta tesis y conocer la utilidad futura de los planos y levantamientos.

Cap. 1. Conceptos generales de Topografía, Geodesia y Cartografía

Para poder realizar trabajos profesionales de Topografía y Geodesia, es importante conocer claramente diferentes conceptos que nos ayudarán a decidir cómo solucionar de manera rápida, eficaz y correcta algún proyecto. De la misma forma, para esta tesis definiremos el marco teórico para ubicar y apoyar el problema planteado.

1.1 Topografía

La Topografía es la ciencia y arte que trata las técnicas, métodos y principios, empleadas para determinar y describir detalladamente la superficie terrestre. Mediante medidas directas efectuadas en el terreno de distancias, direcciones y elevaciones, apoyadas en la Geometría, la Topografía puede representar todos los elementos naturales y artificiales que conforman un terreno, mediante un dibujo o plano topográfico.

La Topografía surgió por la necesidad de representar gráficamente y a escala una porción de la superficie terrestre de importancia para el hombre, por ejemplo: conocer la superficie y los linderos de un terreno, de una casa, o de un conjunto de ellos; los arroyos, ríos, caminos, puentes, montes, etc. La Topografía no abarca grandes extensiones de la superficie terrestre, ya que estas le conciernen a la Geodesia y la Cartografía, sino extensiones específicas a gran nivel de detalle, donde el hombre pueda ubicar su persona como su entorno para algún fin específico.

Las dos tareas principales de la Topografía son el trazo y el levantamiento:

1. El trazo: consiste en el análisis de un plano o informe topográfico mediante el cual sea posible replantear en el terreno, empleando métodos y técnicas, las condiciones previamente establecidas.
2. El levantamiento: consiste en los métodos y técnicas empleados para la obtención de datos que permiten obtener la representación gráfica o figura de un terreno en un plano a una escala determinada.

El método clásico y más usado para el levantamiento es la poligonación y radiación. Una poligonal es un polígono de n lados o una sucesión de líneas con una dirección y magnitud determinadas que se conectan y quiebran en puntos fijos. Mediante la radiación tomamos los detalles del terreno que nos interesan desde los puntos de la poligonal.

Algunas aplicaciones principales de la topografía son:

1. Levantamiento de terrenos para ubicar y determinar linderos.
2. Trazo en el campo para deslindar límites entre propiedades.
3. Medición de terrenos para dividirlos.
4. Localizar, proyectar y trazar vías de comunicación.
5. Levantamientos catastrales para determinar los límites de una propiedad y evaluar el impuesto correspondiente.
6. La topografía de minas para determinar la posición de la superficie de terreno sobre la cual se llevan a cabo los trabajos subterráneos y superficiales.
7. Levantamiento de sitios arqueológicos para su conservación e integración al acervo histórico.

La Topografía es y seguirá siendo de gran utilidad para conocer perfectamente nuestro entorno y nuestros límites, y en base a esto ejercer una buena toma de decisiones personales y colectivas. Veremos cómo en el desarrollo de esta Tesis, la Topografía formará parte importante de nuestro estudio.

1.2 Geodesia

La Tierra sigue cambiando constantemente desde su formación debido a diversos fenómenos naturales; ejemplos importantes son los desplazamientos por la dinámica de placas oceánicas y continentales, los depósitos de grandes masas de sedimentos y los movimientos de mareas ocasionados por la interacción gravitatoria del Sol y la Luna.

En la actualidad sabemos que la forma de la Tierra es cercana a una esfera achatada en los polos y abultada en el ecuador, con el hemisferio sur más grande que el hemisferio norte; es común relacionarla con la forma irregular de una papa. Podemos sencillamente imaginarla como una esfera, pero no lo es si tomamos en cuenta la orografía de cada continente y la superficie oceánica. Es muy importante estudiar la forma actual de la Tierra y conocer nuestra ubicación en ella, para aprovechar mejor sus recursos y disfrutar de un mejor nivel de vida.

La Geodesia es la ciencia que estudia a la Tierra. Mediante mediciones y observaciones constantes nos ayuda a conocer su tamaño, su forma, su campo gravitacional, su orientación y desplazamientos en el espacio. La Geodesia nos ayuda a conocer con precisión dónde están los objetos de nuestro interés, dónde estuvieron y hacia qué dirección van.

Los geodestas fijan la localización precisa de puntos sobre la superficie terrestre dotándolos de coordenadas mediante métodos y procedimientos matemáticos, geométricos, astronómicos y topográficos, en combinación con tecnología e instrumentación avanzada, como es el Sistema de Posicionamiento Global, equipos electrónicos, ópticos y de rayo láser, para fijar un marco de referencia espacial al cual referir nuestro entorno para diversos fines.

Algunas aplicaciones importantes de la Geodesia son:

1. Georeferencia de levantamientos topográficos.
2. Elaboración de mapas detallados de países y continentes.
3. Delimitación de municipios, estados y países.
4. Conexión de grandes vías de comunicación.
5. Inventarios de recursos naturales y artificiales.
6. Monitoreo de movimientos de placas tectónicas.
7. Monitoreo de deformaciones volcánicas.

Como podemos observar, los datos derivados de la Geodesia son de gran apoyo para científicos, ingenieros, políticos y la sociedad en general para referir en un marco oficial y confiable diversos datos geográficos; de ahí radica la importancia de esta ciencia para el funcionamiento y desarrollo de un país dentro de una base confiable.

Los conceptos que integran la Geodesia nos serán de gran utilidad debido a que están estrechamente relacionados con la Cartografía y el Sistema de Posicionamiento Global, y que al final son de gran utilidad para los trabajos de Topografía.

1.2.1 Elipsoide

El elipsoide es la superficie geométrica que más se aproxima al geoide y es básica para determinar coordenadas y realizar cálculos geodésicos. Esta superficie se genera al girar una elipse sobre uno de sus semiejes, los cuales son:

1. El semieje mayor (a): correspondiente al radio del ecuador terrestre.
2. El semieje menor (b): correspondiente al eje de rotación terrestre y por lo tanto el semieje de rotación de la elipse.

La ecuación de la elipse de rotación con centro en el origen es:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

La ecuación del elipsoide con centro en el origen está dada por (Krakiwsky, Cálculos de posicionamiento: 12):

$$\frac{x^2 + y^2}{a^2} + \frac{z^2}{b^2} = 1$$

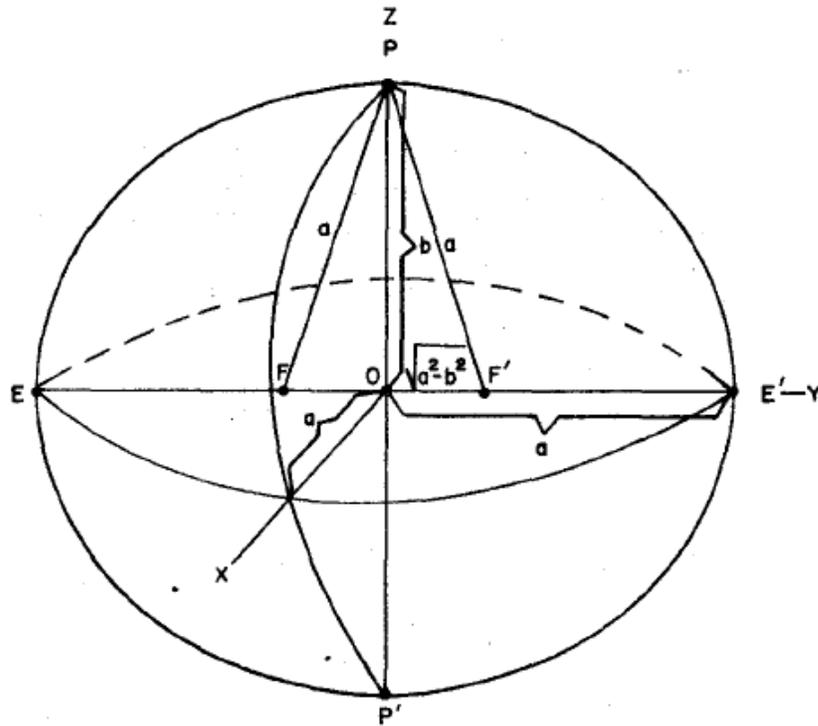


Imagen 1.1 (Krakiwsky: 13)

Los puntos F y F' en la imagen 1.1 son los focos de la elipse de rotación que pasa por los puntos P, E', P', E. Los focos son equidistantes del centro geométrico de la elipse. Las distancias PF y PF', son igual al semieje mayor (a) (13).

Cuando se eligen las dimensiones de los semiejes mayor y menor que más se ajustan al geode, entonces se habla de un elipsoide de referencia geodésico. Es fundamental definir, en teoría, al eje de rotación y al centro del elipsoide en coincidencia con el eje de rotación y el centro de la Tierra respectivamente.

Actualmente en México, los elipsoides de referencia utilizados con fines topográficos y geodésicos son:

| Elipsoide | Semieje mayor 'a' [m] o radio ecuatorial | Semieje menor 'b' [m] o radio polar | Achatamiento '1/f' | Empleado en el marco de referencia |
|----------------------|--|-------------------------------------|--------------------|--|
| GRS 80 | 6, 378, 137 | 6, 356, 752. 314140 | 1: 298. 257222101 | International Terrestrial Reference Frame 2008 |
| WGS 84 | 6, 378, 137 | 6, 356, 752. 314245 | 1: 298. 257223563 | World Geodetic System 1984 |
| Clarke (1866) | 6, 378, 206.4 | 6, 356, 583. 8 | 1: 294.978698 | North American Datum 1927 |

1.2.2 Geoide

La Tierra está compuesta en todo su entorno, desde el ecuador hasta los polos, por una gran cantidad de superficies gravitacionales, llamadas superficies equipotenciales, es decir, sin importar en que parte de la superficie sea medida la gravedad, el potencial de energía gravitatoria será exactamente el mismo.

El geoide es una superficie equipotencial que busca representar la verdadera forma de la Tierra; se le asigna arbitrariamente el valor de *altura cero* muy próxima al nivel medio del mar y es utilizada como referencia para calcular la altura ortométrica H.

Podemos imaginar al geoide como una superficie que cubre al planeta entero de manera ideal, uniforme y en total calma, como si no hubiera movimientos tectónicos, de mareas o de corrientes.

El INEGI pone a disposición los datos del Geoide Gravimétrico Mexicano versión 2010 (GGM10), que es un modelo digital de alturas geoidales para el área Mexicana, donde es posible consultar el valor de altura geoidal correspondiente a cualquier punto sobre el territorio nacional.

El Geoide Gravimétrico Mexicano está asociado al marco de referencia oficial vigente, ITRF08, época 2010 (imagen 1.2).

1.2.3 Sistema de alturas

El sistema de alturas en Geodesia señala las relaciones que existen entre la superficie del elipsoide, el geode y la superficie terrestre, en cuanto a las distancias verticales que las separan. Estas distancias verticales son llamadas: altura geoidal, altura ortométrica y altura geodésica.

La altura geoidal (N) u ondulación del geode es la distancia vertical entre el elipsoide de referencia y el geode.

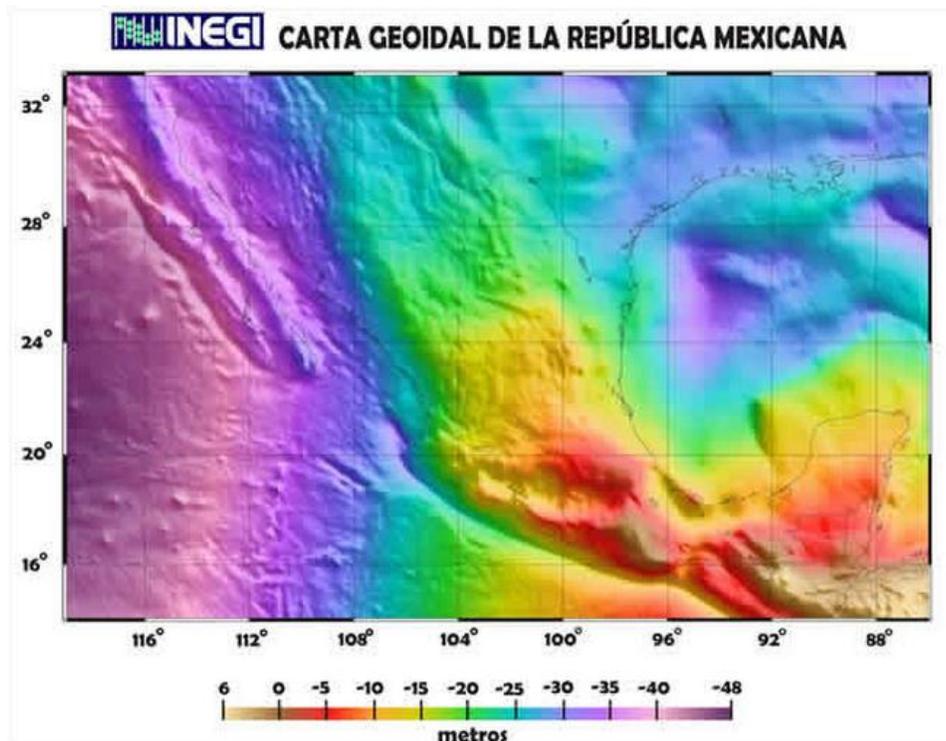


Imagen 1.2 Alturas geoidales para México (INEGI)

A la altura sobre el geode se le conoce como altura ortométrica (H), mejor conocida como elevación, este valor es el más usado como referencia vertical debido a su consistencia.

La altura geodésica (h) o elipsoidal es la distancia vertical entre la superficie topográfica y el elipsoide de referencia. Es la altura que se obtiene mediante el Sistema de Posicionamiento Global.

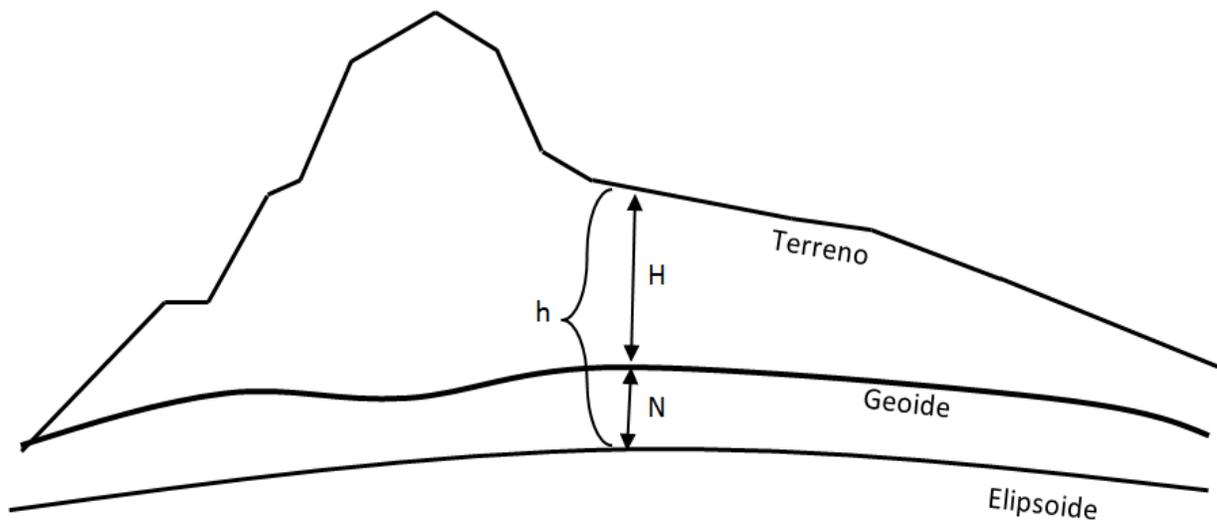


Imagen 1.4. Relación entre altura geoidal, elipsoidal y ortométrica

1.3 Sistemas de coordenadas terrestres

En los capítulos siguientes nos encontraremos con diferentes valores que indicarán la posición de puntos sobre el espacio. Es importante conocer algunas características básicas de estos valores, para poder elegir el sistema de coordenadas más conveniente, saber diferenciarlos y comprender mejor cómo podemos pasar de un sistema a otro.

Los sistemas de coordenadas terrestres especifican una serie de condiciones para que uno o más números (coordenadas) determinen la posición de un punto. Las condiciones que definen un sistema de coordenadas son:

- 1.- La localización del origen.
- 2.- La orientación de los tres ejes.
- 3.- El tipo de superficie usada como referencia.
- 4.- Los parámetros matemáticos (cartesianos, curvilíneos) que definen la posición de un punto en un sistema de coordenadas.

Una vez determinadas estas condiciones, un sistema de coordenadas terrestre permanecerá fijo a la tierra y girará con ella.

1.3.1 Sistema convencional terrestre

Actualmente en México, con el uso del Sistema de Posicionamiento Global para la obtención de coordenadas en los trabajos de Topografía y Geodesia se ha definido un sistema convencional terrestre dinámico (imagen 1.5) que utiliza un elipsoide de referencia geodésico. Queda definido por un sistema tridimensional cartesiano con ejes x , y , z ; el centro de masas de la Tierra se toma como el origen del sistema de coordenadas, así como el centro geométrico del elipsoide asociado; el eje z apunta al Origen Internacional Convencional (CIO), definido como la posición media, en la Tierra, del eje de rotación terrestre durante el periodo comprendido entre los años 1900 y 1905; el eje x coincide con el plano del meridiano de Greenwich, el eje y forma un triedro con los otros dos ejes formando un sistema de mano derecha, y el plano xy coincide con el plano ecuatorial.

Las coordenadas suscritas a este sistema para representar un punto sobre la Tierra son la latitud (ϕ), la longitud (λ) y la altura (h) geodésicas. La latitud geodésica es el ángulo formado entre el plano del ecuador y la línea normal al elipsoide en el punto, se mide a partir del plano ecuatorial a los 0° y puede llegar a los polos norte o sur alcanzando los 90° . La longitud geodésica es el ángulo entre el meridiano elipsoidal local y el plano paralelo al meridiano de Greenwich, se calcula a partir del paralelo al meridiano de Greenwich a los 0° y alcanza los 180° hacia el Este, o bien, los 180° hacia el Oeste. La altura geodésica es la distancia vertical entre la superficie topográfica y el elipsoide.

Es común referirse a estas coordenadas como “coordenadas geográficas”, sin embargo para uso especializado en donde se involucren elipsoides matemáticos de referencia, se debe referirse a ellas como *coordenadas geodésicas*.

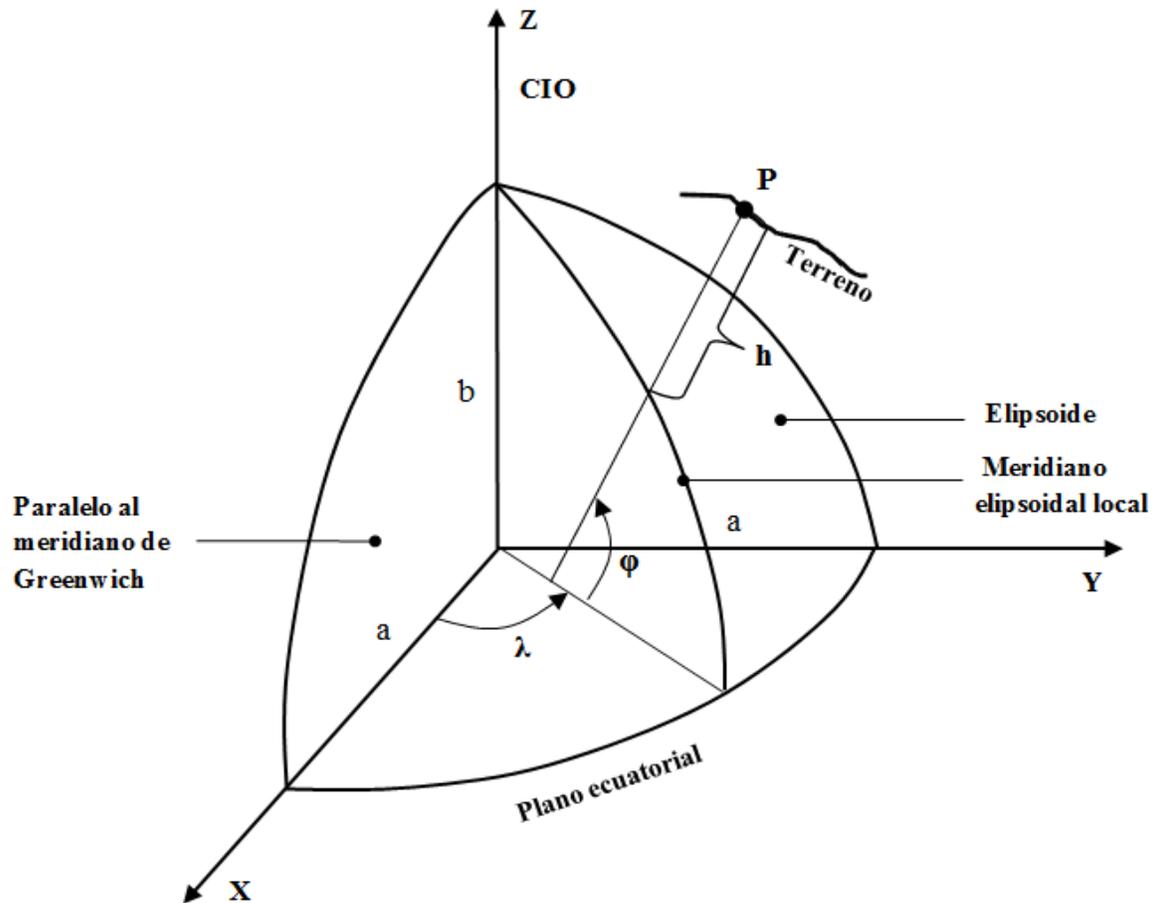


Imagen 1.5

1.3.2 Sistema ortogonal coordenado

También llamado *sistema local*, es el sistema cartesiano más básico de todos; se utiliza para conocer las posiciones de puntos de manera arbitraria; su uso es común para levantamientos topográficos que abarcan porciones pequeñas de terreno.

La superficie usada en este sistema es una porción de tierra plana donde se introducen tres ejes ortogonales x, y, z ; el origen queda ubicado igualmente de manera local y arbitraria. Los ejes coordenados pueden estar orientados a cualquier parte, pero por conveniencia, el eje x apunta al Este, el eje y apunta al Norte y el eje z es perpendicular al plano xy .

Aunque este sistema sea arbitrario, es posible georeferenciar el origen de coordenadas para posicionar todos nuestros puntos en un sistema de referencia o cartografía oficial.

1.4 Cartografía

Si bien para nuestro trabajo no será necesario el uso de mapas o cartas, tocaremos el tema de la Cartografía para conocer cómo una proyección cartográfica es una herramienta de gran utilidad para la Topografía.

La Cartografía es la ciencia, el arte y la técnica que elabora mapas y cartas. Auxiliada por las matemáticas y la Geodesia, crea documentos ideales para expresar el conocimiento y representación de países, continentes y el planeta entero.

Un mapa es la representación gráfica de la superficie terrestre sobre una superficie plana. La diferencia entre una carta y un mapa radica en que el mapa es de escala más pequeña, por lo tanto genera más detalle y es posible obtener más información.

1.4.1 Proyección cartográfica

La proyección cartográfica es el proceso matemático para representar una superficie curva en un plano mediante transformación de coordenadas geodésicas a coordenadas planas cuadrangulares, garantizando la correspondencia biunívoca entre los puntos de la superficie y los del plano. Para esta transformación de coordenadas se requieren parámetros perfectamente definidos, como son: el tipo de proyección, la escala, el meridiano central, el punto de origen, los parámetros de transformación y la convergencia.

Una proyección se clasifica por el tipo de figura geométrica que se utiliza para proyectar a la Tierra y por el cumplimiento de ciertas condiciones geométricas. Las figuras geométricas más utilizadas son el cono, el cilindro y el plano; y en cuanto a las condiciones geométricas pueden ser principalmente:

1. Conforme: como su nombre lo sugiere, se conserva la forma de los objetos y los ángulos representados, sin embargo distorsiona las superficies.
2. Equivalente: se conserva el valor real del área de los objetos representados. Se pierde la forma de los objetos y también los valores de ángulos y distancias.
3. Equidistante: representa correctamente los valores de las distancias entre los puntos representados. Distorsiona las áreas, las formas y los ángulos.

4. Afiláctica: no conserva ninguna de las características anteriores.

Debido a la imposibilidad de representar la superficie terrestre sin pérdidas de áreas, distancias o ángulos, la idea principal de la cartografía es saber elegir una determinada proyección en base a lo que necesitemos conocer o utilizar; una vez elegida, estos documentos resultan de gran utilidad para el hombre, ayudándole a conocer rumbos y distancias para la navegación o exploración, por ejemplo.

Es inconveniente utilizar diferentes tipos de proyecciones cartográficas para representar una superficie o un conjunto de ellas, porque sería como si quisiéramos decir lo mismo pero en diferente idioma; por lo tanto, un país y sociedad buscan utilizar una proyección oficial donde todos puedan entender, generar y compartir información, de manera rápida, confiable, en un lenguaje estandarizado. Aquí es donde entra la proyección UTM que veremos a continuación.

1.4.2 Proyección Universal Transversa de Mercator (UTM)

La proyección UTM tiene su origen en la proyección cilíndrica Transversa de Mercator (TM); en esta última, el cilindro es tangente al meridiano central, sobre el cual la escala es verdadera o igual a uno. Esto hace que la proyección sea apropiada para áreas de gran extensión en el sentido Norte-Sur y estrechas en el sentido Este-Oeste.

La proyección UTM fue adoptada por el ejército de los Estados Unidos en la década de los cuarentas para designar coordenadas rectangulares en mapas de gran escala para todo el mundo. En la UTM el cilindro es secante al elipsoide, es decir, lo corta en un plano que va del polo Norte al polo Sur, resultando una zona de proyección de 6 grados de amplitud. El factor de escala es igual a 1 en los meridianos en donde corta al elipsoide; en el meridiano central el factor de escala es 0.9996 (imagen 1.6).

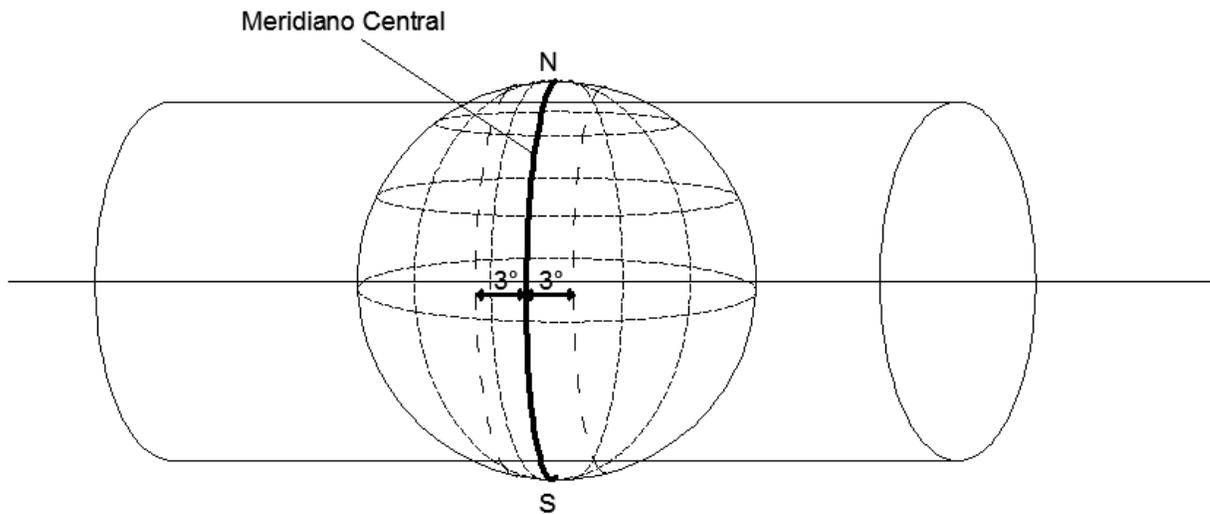


Imagen 1.6

La Cuadrícula Universal Transversa de Mercator (CUTM) tiene las siguientes especificaciones:

1. Proyección Transversal de Mercator, en zonas de 6° de amplitud.
2. Elipsoide GRS80, WGS84, o algún otro en específico dependiendo el país o continente.
3. Longitud de origen: meridiano central de cada zona. Para la República Mexicana 87° , 93° , 99° , 105° , 111° y 117° al Oeste del meridiano de Greenwich.
4. Latitud de origen: 0° , partiendo del Ecuador.
5. Unidad: metro.
6. Falsa ordenada: 0 metros en el Ecuador para el Hemisferio Norte y diez millones de metros para el Hemisferio Sur.
7. Falsa abscisa: 500 000 metros en el MC de cada zona.
8. Factor de escala en el Meridiano Central: 0.9996.
9. Numeración de las zonas: Se inicia con el número 1 para la zona situada entre los Meridianos 180W a 174W y continúa hacia el Este en orden ascendente hasta llegar a la número 60 entre los meridianos 174E y 180E
10. Límites en latitud: Norte 84N y 80S.

Algunas características importantes de la proyección UTM son:

1. Es una proyección conforme, así los ángulos medidos en la proyección o los cálculos en función de las coordenadas de la cuadrícula, se aproximan a sus valores verdaderos.
2. Los parámetros que definen al cilindro son menores que los del elipsoide para evitar lo más posible la deformación por curvatura.
3. Cuenta con dos líneas geodésicas de contacto con el cilindro, paralelas y simétricas al meridiano central, lo que conocemos como zona UTM, que representa aproximadamente 360 km de extensión en la superficie terrestre.
4. Entre más se aleje un objeto del meridiano central aumentará la distorsión y la convergencia de meridianos.
5. Una de las características más importantes de la cuadrícula UTM es su utilidad en estimaciones rápidas que no requieren mucha precisión.

1.5 Sistema de referencia y marco de referencia geodésico

Un sistema de referencia geodésico o dátum es una red de estaciones sobre la superficie terrestre dotadas de coordenadas relacionadas con la posición del elipsoide y el geoide respecto a la orientación del eje polar y la posición del centro de masa de la Tierra, definiendo un sistema de ejes coordenados para ubicar puntos en el planeta.

Un sistema de referencia se materializa mediante estaciones cuyas posiciones son establecidas de manera muy precisa respecto a la posición del elipsoide con respecto al geoide. A partir de estas estaciones es posible obtener los datos de sus observaciones para propagar coordenadas de manera precisa.

Actualmente en México, el marco de referencia oficial es el ITRF2008 época 2010, asociado al elipsoide GRS80. Es un sistema convencional terrestre que se ha perfeccionado en las últimas dos décadas. A partir de 1987, el Servicio Internacional de Rotación de la Tierra (IERS, International Earth Rotation Service) es el encargado de desarrollar el marco de referencia terrestre internacional, mediante técnicas de medición muy avanzadas, como la interferometría de bases muy largas, la medición láser satelital y el sistema de posicionamiento global, por mencionar algunas. Con estas tecnologías desarrolladas para medir desde el espacio ha sido posible conectar los continentes en una red muy precisa para la creación de un sistema de coordenadas global.

En el marco ITRF08 época 2010, el centro de masa de la Tierra se toma como el origen del sistema de coordenadas tridimensional, así como el centro geométrico del elipsoide GRS80. Los ejes x , y , z , se definen en función del movimiento de rotación de la Tierra: El eje z está dirigido hacia el polo convencional internacional, el eje x se orienta hacia el meridiano de Greenwich y el eje y forma un triedro con los otros dos ejes en sentido hacia la derecha; de manera que el plano xy coincide con el plano ecuatorial. Los parámetros dinámicos que definen al ITRF2008 son:

Radio ecuatorial terrestre: 6, 378, 137 m

Velocidad angular terrestre (w): 7292115×10^{-11} rad/seg

Constante gravitacional geocéntrica (GM): 3986005×10^8 m³/seg²

Factor dinámico de forma (J_2): 108263×10^{-8}

1.6 Red Geodésica Nacional Activa

La Red Geodésica Nacional Activa es una red de estaciones con coordenadas precisas que materializan el marco ITRF08 época 2010 en la república mexicana. Se encuentran distribuidas estratégicamente en todo el país, monitoreando datos de los satélites GPS para que los usuarios puedan disponer de la información necesaria para realizar posicionamientos GPS topográficos y geodésicos en el marco oficial.

En la norma técnica del Sistema Geodésico Nacional publicada el pasado 23 de diciembre del 2010 se especifica:

Artículo 11.- La RGNA deberá estar integrada por un conjunto de Estaciones Geodésicas que permitan propagar el marco de referencia geodésico horizontal, apoyando a los usuarios en sus levantamientos geodésicos.

Las estaciones geodésicas de la RGNA deberán encontrarse dentro del estándar de exactitud posicional de 5 centímetros, y registrar a intervalos de 15 segundos, durante las 24 horas del día, los datos de las frecuencias transmitidas por satélites GNSS.

Algunas consideraciones importantes son las siguientes:

- La denominación, datos y posición geodésica de cada una de las estaciones de la RGNA estarán disponibles en el sitio de internet del Instituto.
- Los archivos de las estaciones de la RGNA se encuentran en el formato estándar RINEX.

En la imagen 1.7 se muestra un mapa de las estaciones de la RGNA.



Imagen 1.7 (INEGI)

Cap. 2. Sistema de Posicionamiento Global

No sería apropiado seguir hablando del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) sin describirlo, conocer en términos generales su funcionamiento y tener presente las posibles fuentes de error que pueden generar en las medidas.

El sistema NAVSTAR (NAVigation System for Timing and Ranging, o sistema de navegación para tiempos y distancias), comúnmente conocido como GPS, es un sistema global de navegación por satélite (o GNSS, global navigation satellite system) creado y gestionado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos. El diseño original de la constelación era de 24 satélites; actualmente la constelación cuenta con 32 satélites, estos satélites adicionales mejoran la precisión de los receptores GPS, permitiendo recibir la señal de 9 a 12 satélites en cualquier punto de la Tierra, además aseguran la disponibilidad de satélites en caso de que alguno falle. Los satélites GPS transmiten señales que hacen posible obtener la posición de un receptor, ya sea en la superficie terrestre o marítima y en la atmósfera terrestre, sin importar el estado climático o la hora del día. El GPS es usado para la aviación, la navegación marítima y para la orientación en tierra. La señal del satélite es gratuita, para obtenerla solo se necesita contar con un receptor y saber que la señal no puede penetrar en vegetación muy densa, rocas o edificios.

2.1 Segmentos del sistema GPS

Para describir al sistema GPS, es común dividirlo en tres segmentos: segmento espacial, segmento control y segmento usuario.

2.1.1 Segmento espacial

El segmento espacial es administrado por la Fuerza Aérea de los Estados Unidos, garantizando la disponibilidad de al menos 24 satélites. Estos satélites circundan la Tierra cada 12 horas a una velocidad de 3.9 km por segundo. Los satélites se desplazan en orbitas cuasi circulares centradas en la Tierra a una altitud promedio de 20, 200 km.

Los 24 satélites se encuentran distribuidos en seis planos orbitales, es decir cuatro por cada plano. La inclinación de los planos es aproximadamente de 55° con respecto al ecuador; este arreglo evita que demasiados satélites orbiten los polos terrestres, de cualquier modo la cobertura para estas regiones está garantizada.

Los satélites viajan con relojes atómicos altamente precisos que trabajan en una frecuencia fundamental de 10.23 MHz, de esta magnitud se generan las dos señales emitidas por los satélites: las señales portadoras L1 y L2, las cuales son transportadas en ondas de radio en la parte del microondas del espectro electromagnético.

El diseño del GPS contiene dos códigos pseudoaleatorios: el *código de adquisición común (C/A)*, disponible para uso civil, y el *código preciso (P)*, disponible solo para uso militar.

El código C/A es una secuencia de información de 1,023 bits, se transmite a 1.023 megabits por segundo y se repite cada milésima de segundo. Este código, también llamado ruido pseudoaleatorio, produce pulsos binarios (ceros y unos) muy complejos que podrían parecer desordenados, pero en realidad están perfectamente definidos y son únicos para cada satélite, permitiendo que sean reconocidos por los receptores GPS.

El código P es un código de 6.1871×10^{12} bits (6, 187, 100, 000, 000 bits) y solo se repite una vez a la semana, transmitido a 10.23 megabits por segundo. La gran longitud del código permite gran alcance, eliminando ambigüedades. La intención del código P es el uso militar, y por razones de seguridad es encriptado.

Además de los códigos pseudoaleatorios (C/A y P), un receptor en tierra necesita recibir información de la posición y altura orbital de cada satélite. Esta información se encuentra modulada en los códigos pseudoaleatorios y se le conoce como *mensaje de navegación*.

El mensaje de navegación está compuesto de tres componentes principales. El primero contiene la fecha, el tiempo GPS, el estado y salud del satélite. El segundo contiene la información orbital conocida como *efemérides*, que permiten al receptor calcular la posición de del satélite. El tercer componente, llamado almanaque, contiene información y estatus de todos los satélites.

Para que los códigos pseudoaleatorios y el mensaje de navegación puedan ser transmitidos de los satélites a los receptores, deben ser modulados en ondas portadoras. El diseño original del sistema GPS es de dos frecuencias portadoras: la portadora L1 de 1575.42 MHz ($10.23\text{MHz} \times 154$) y la portadora L2 de 1227.60 MHz ($10.23\text{MHz} \times 120$).

El código C/A se transmite en la portadora L1 a 1.023 MHz. El código P se transmite en las portadoras L1 y L2 a una frecuencia de 10.23 MHz.

Los tres principales beneficios de transmitir dos frecuencias son: la confiabilidad del sistema al contar con dos componentes críticos; aumenta la resistencia a la interferencia; y la más importante, elimina los errores producidos por la atmósfera.

2.1.2 Segmento control

El segmento control consiste en una red global de estaciones terrestres distribuidas mundialmente y controladas por la Armada de EEUU. Actualmente se encuentra operado por una estación de control maestra ubicada en la base de la fuerza aérea de Shriever en Colorado Springs, EEUU, una estación de control maestra alterna ubicada en la base de la fuerza aérea de California, EEUU, cinco estaciones de observación ubicadas en: Hawái, Cabo Cañaveral, Ascensión, Diego García y Kwajaleín, 12 antenas de control y comando y 16 estaciones de monitoreo. En la imagen 2.1 se muestra un mapa de la distribución del segmento control.

Algunas funciones del segmento control son:

- 1.- Monitoreo de los satélites.
- 2.- Actualización de la posición, altura y velocidad de cada satélite.
- 3.- Análisis de las señales recibidas.



Imagen 2.1

- 4.- Determinación de la órbita de cada satélite.
- 5.- Predicción diaria de la trayectoria de cada satélite.

6.- Corrección del desfase del reloj de cada satélite.

La información que las estaciones reciben de cada satélite es trabajada y enviada de vuelta con las correcciones pertinentes que garantizan el correcto funcionamiento del sistema.

2.1.3 Segmento usuario

El segmento usuario hace referencia a las personas que obtienen la posición y el tiempo de un lugar mediante un receptor GPS para que los apliquen a un interés específico. Actualmente la lista de usuarios y aplicaciones es muy grande; pero cabe hacer hincapié en la Topografía y la Geodesia, que a principios de los ochentas fue uno de los primeros sectores en tomar ventaja del sistema y crecer año con año de manera conjunta en tecnología y métodos que hacen posible el posicionamiento preciso.

2.2 Funcionamiento del GPS

2.2.1 Posicionamiento absoluto

Los satélites GPS transmiten a los receptores GPS información acerca de la ubicación actual, los tiempos y la salud de los satélites por medio del mensaje de navegación. Esta información permite a los receptores determinar su ubicación respecto a los satélites observados y la consecuente posición en la Tierra.

El posicionamiento absoluto o de navegación, se caracteriza por el cálculo de la distancia de nuestro receptor GPS hacia al menos cuatro satélites; tres de ellos nos permiten hacer una triangulación. Las distancias calculadas, o mejor dicho pseudorángos¹, serán los radios de tres esferas, la magnitud del radio estará en función del tiempo que tarde la señal en llegar al receptor, y el centro de la esfera es la posición de cada satélite en el espacio; de esta manera las tres esferas se intersectarán en dos puntos, pero uno de ellos es descartado por su lejanía a la superficie terrestre, quedando la posición del punto que mejor se aproxima a la posición buscada; aun así, la medición de un cuarto pseudorango es muy necesario.

En la imagen 2.2 se muestra una triangulación en dos dimensiones para hallar la posición mediante tres satélites.

¹ Llamamos a las distancias *pseudorángos* porque no se ha efectuado ninguna corrección de los errores de sincronización en los relojes.

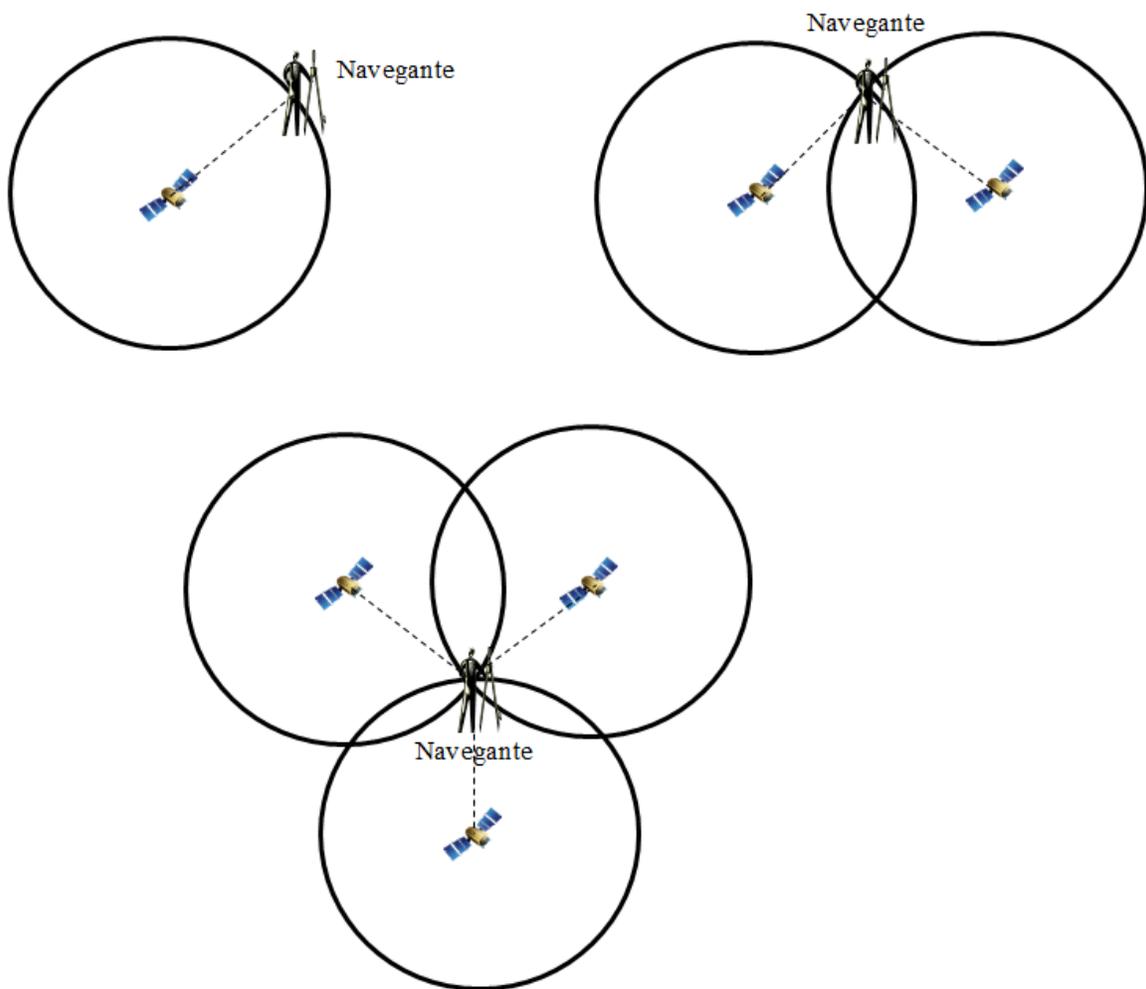


Imagen 2.2

Los pseudorangos se obtienen multiplicando la velocidad a la que viaja la señal emitida por el satélite (velocidad de la luz) por el tiempo que tarda en llegar a nuestro receptor; el tiempo debe medirse de manera extremadamente precisa, pues imprecisiones de centésimas de segundo se pagan con errores de cientos de kilómetros. El receptor lleva un reloj que también produce un código pseudoaleatorio (C/A) para que coincida con el código pseudoaleatorio del satélite; por el lado de los satélites el tiempo no es problema porque llevan relojes atómicos, pero no es así para los receptores. El satélite y el receptor deben correlacionar, o hacer coincidir sus códigos pseudoaleatorios para que el sistema funcione, y se logra realizando la medición de un cuarto pseudorange, como se mencionó líneas atrás. Una cuarta medición no intersectará con las tres

primeras, por lo tanto el receptor detectará un desfase y lo atribuirá a una sincronización imperfecta con la hora universal; el receptor hallará un factor de corrección y lo aplicará a las mediciones de tiempo, logrando que los rangos de tiempo coincidan en un solo punto. Esta sincronización permite ajustar el reloj del receptor a la hora universal, de este modo el receptor es también un reloj atómico. Las distancias a los satélites, en un principio llamadas pseudorangos, ahora corresponden a distancias que determinan la posición esperada.

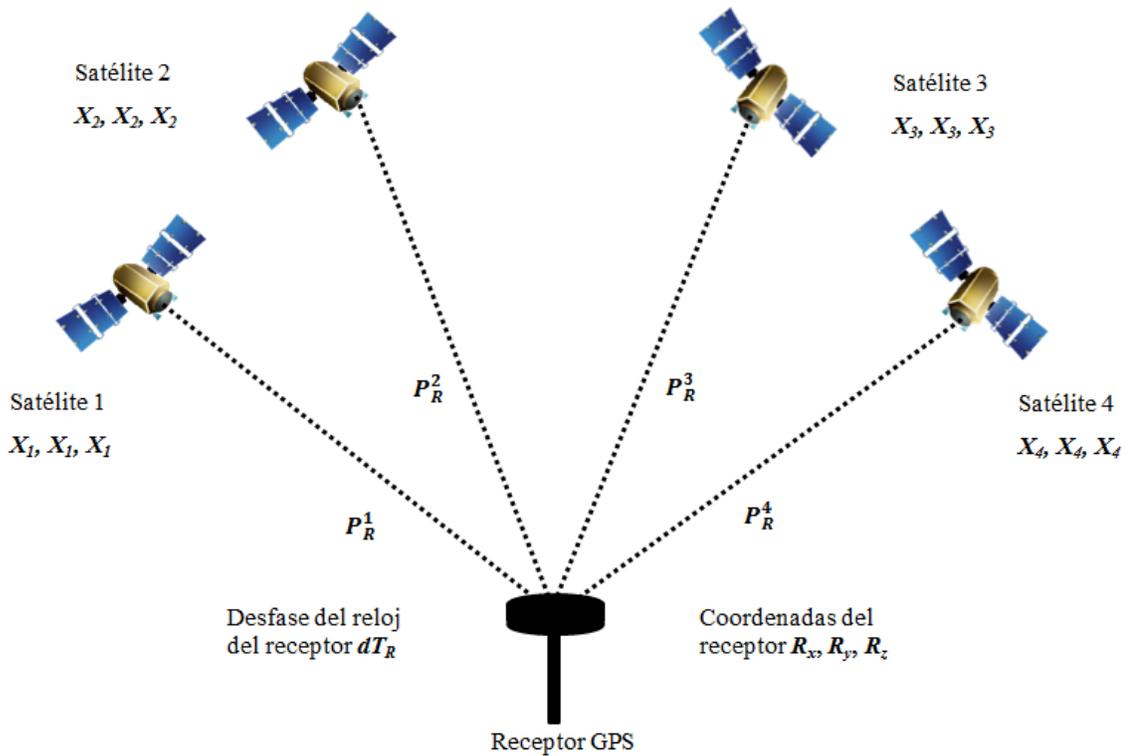
La solución matemática para obtener las coordenadas R_x , R_y , R_z , y el desfase del reloj del receptor dT_R , se obtiene mediante la solución de un sistema de ecuaciones, donde el número de incógnitas es igual al número de observaciones. El receptor observa cuatro satélites simultáneamente, por lo tanto cuatro ecuaciones pueden resolverse simultáneamente para cada época. Cuando hablamos de una época GPS, nos referimos al corto periodo de tiempo que dura una medición de pseudorangos, el cual es suficiente para obtener los datos para resolver las ecuaciones. En la imagen 2.3 se muestra el posicionamiento absoluto.

El posicionamiento de mayor precisión se realiza mediante la medición de las fases portadoras L1 y L2. Al no ser moduladas por los códigos C/A y P, resulta más fácil la medición de los ciclos recibidos. El funcionamiento de la medición de la fase portadora es similar al descrito anteriormente para la correlación de los pseudorangos, solo que en este método se combinan la portadora sin modular enviada desde el satélite con la réplica generada por el receptor. Las observaciones de fase portadora deben obtener las distancias mediante el número de ciclos recibidos por el receptor multiplicado por la longitud de onda. Pero la gran incógnita es el número de ciclos completos entre el receptor y el satélite al momento en que la comunicación satélite-receptor comenzó. Este número entero de ciclos desconocidos se le conoce como *ambigüedades*, y no puede ser determinado directamente por el receptor. El receptor puede conocer la cantidad de ciclos recibidos, así como las fracciones de estos, al momento que empieza a recibir la señal del satélite hasta que se termina la observación. La determinación de distancias se logra mediante la resolución de ambigüedades.

2.2.2 Posicionamiento relativo

El posicionamiento relativo, también conocido como diferencial, es posible cuando se dispone de dos o más receptores GPS. Con este posicionamiento las precisiones son considerablemente más altas en relación con el posicionamiento absoluto, debido a la correlación entre las observaciones cuando se reciben simultáneamente en dos o más receptores. La distancia entre los receptores es

relativamente pequeñas si la comparamos con la distancia de los receptores a los satélites; de este modo, si los receptores funcionan a la par, registrando datos de los mismos satélites, los errores entre los receptores serán similares.



$$P_R^1 = \sqrt{(X_1 - R_x)^2 + (X_1 - R_y)^2 + (X_1 - R_z)^2 + c(dT_R)}$$

$$P_R^2 = \sqrt{(X_2 - R_x)^2 + (X_2 - R_y)^2 + (X_2 - R_z)^2 + c(dT_R)}$$

$$P_R^3 = \sqrt{(X_3 - R_x)^2 + (X_3 - R_y)^2 + (X_3 - R_z)^2 + c(dT_R)}$$

$$P_R^4 = \sqrt{(X_4 - R_x)^2 + (X_4 - R_y)^2 + (X_4 - R_z)^2 + c(dT_R)}$$

Donde:

c = velocidad de la luz.

Imagen 2.3

El posicionamiento relativo se basa en tomar *diferencias* entre las medidas; de esta manera, el efecto de varios errores comunes a las mediciones se eliminan o se reducen considerablemente. Las llamadas diferencias, representan una serie de medidas simultáneas que se realizan para medir una *línea base*²; las más conocidas son la *diferencia simple*, la *diferencia doble* y la *diferencia triple*.

En la diferencia simple entre receptores, la diferencia de tiempo entre el primer receptor con la diferencia de tiempo del segundo receptor es cero. Como dos receptores observan el mismo satélite al mismo tiempo, el error del reloj del satélite es eliminado. Las demoras atmosféricas y los errores de las orbitas para ambos receptores son prácticamente iguales, así que también se pueden eliminar.

En la diferencia simple entre satélites, la diferencia entre las medidas de señales recibidas de dos satélites obtenidas simultáneamente por un solo receptor es cero, por lo tanto los datos de estos dos satélites hacen posible que se elimine el error del reloj del receptor. En este caso, no puede haber diferencia entre los relojes del receptor, pues solo un receptor es utilizado. Los efectos atmosféricos son parecidos para ambos satélites cuando llegan al receptor, por lo que estas demoras son eliminadas.

Al usar las diferencias entre receptores y las diferencias entre satélites, se crea una doble diferencia. Esta diferencia cancela el error de los relojes de los receptores y de los satélites.

La triple diferencia se crea cuando se combinan dos dobles diferencias de dos épocas diferentes. En esta diferencia, dos receptores observan dos mismos satélites al mismo tiempo durante dos épocas consecutivas. Por lo tanto, la triple diferencia detecta y elimina las ambigüedades, pues estas son constantes durante las dos épocas observadas.

Una vez conocidas las distancias del receptor al satélite, se calcula la posición deseada. Para conocer esta posición debemos conocer las coordenadas de los satélites en el sistema orbital, esto se logra mediante los parámetros que describen la elipse kepleriana orbital, contenidos en las efemérides transmitidas. Con estos datos es posible obtener las coordenadas de un punto en un sistema terrestre.

2.3 Fuentes de error en el GPS

Las mediciones que se realizan en el sistema GPS no están exentas de errores, los cuales deben ser conocidos para tratar de evitarlos y no desconcertarse si se obtienen imprecisiones en la posición. Las fuentes de error se deben principalmente a:

² Al vector que se forma entre dos receptores se le conoce como *línea base*.

1.- Geometría de los satélites:

La geometría satelital describe la posición que guardan los satélites entre sí, respecto al receptor GPS. Si un receptor recibe la señal de cuatro satélites ubicados en el noroeste, la geometría es mala, por lo tanto no es posible determinar la posición esperada. En cambio, si los satélites están distribuidos en todo el firmamento, la posición obtenida será la deseada.

Para conocer el estado de la geometría satelital, nos basamos en los valores DOP (dilution of precision, o dilución de la precisión). Dependiendo de qué variables nos interesen en las medidas, los valores DOP se distinguen en:

GDOP (geometric dilution of precision, o dilución de la precisión geométrica): precisión para todas las variables; coordenadas tridimensionales (x, y, z) y tiempo.

PDOP (positional dilution of precision, o dilución de la precisión en la posición): precisión de la posición para las coordenadas tridimensionales.

HDOP (horizontal dilution of precision, o dilución de la precisión horizontal) precisión horizontal para coordenadas planas (x, y).

VDOP (vertical dilution of precision, o dilución de la precisión en la altura): precisión vertical o para la altura.

TDOP (time dilution of precision, o dilución de la precisión del tiempo): precisión en el tiempo.

Entre más pequeños sean los valores de GDOP y PDOP, mejor será la precisión.

Los valores PDOP entre 1.5 y 2.5 son muy buenos, valores arriba de 5 son malos. Generalmente, si GDOP y PDOP son menores que 5, son medidas aceptables.

2.- Orbitas satelitales:

Aunque los satélites son posicionados en sus orbitas de manera muy precisa, es posible que presenten pequeños cambios debido a fuerzas gravitacionales. La información orbital es controlada y corregida constantemente y es enviada a los receptores a través de las señales de los satélites; por tanto, si el receptor no es actualizado con las posiciones precisas de los satélites, la posición calculada será mala.

3.- Efecto multitrayectoria:

El efecto multitrayectoria es causado por la reflexión de las señales de los satélites en objetos como lagos, coches o edificios altos, provocando que la señal del satélite llegue primero al objeto y después a la antena del receptor, implicando interferencias y medidas falsas. Actualmente

existen antenas que reducen este efecto, sin embargo se recomienda, en la medida de lo posible, elegir puntos altos y despejados.

4.- Efectos atmosféricos:

Las ondas electromagnéticas de los satélites viajan a la velocidad de la luz en el espacio exterior, pero al atravesar la ionosfera y la troposfera su velocidad de propagación disminuye por el fenómeno de la refracción.

En la ionosfera, a una altura de 80 a 400 km, capas de iones positivos y electrones se forman por los efectos ionizantes del sol; cuando las ondas electromagnéticas atraviesan estas capas, cambian su velocidad y dirección, provocando que las señales se retrasen. Los receptores GPS de doble frecuencia son capaces de eliminar este error calculando la diferencia de tiempo de llegada entre las portadoras L1 y L2, compensando el retraso. Los receptores de una frecuencia utilizan un modelo que predice el retraso o reciben correcciones ionosféricas de alguna otra fuente, como las misiones de aumento o mejora del sistema GNSS, por ejemplo el WAAS o EGNOS.

La tropósfera es la capa que se encuentra en contacto con la superficie terrestre. En esta capa las ondas de los satélites también se refractan por las diferentes concentraciones de vapor de agua debidas a los cambios en el clima. El error por los efectos de la troposfera no es tan significativo como el ocasionado por la ionósfera, sin embargo existe un modelo general para calcularlo y eliminarlo.

5.- Imprecisión en los relojes:

Aunque hayamos mencionado la sincronización de los relojes atómicos de los satélites con el reloj del receptor durante la determinación de distancias, siempre habrá imprecisiones en el tiempo que generen errores.

La siguiente tabla, tomada de la página *GPS – explained*, muestra las imprecisiones ocasionadas por las fuentes de error, cabe subrayar que estos valores son aproximaciones generales sujetas a variaciones.

| | |
|-------------------------|------------------|
| Efectos ionosféricos | ± 5 metros |
| Efectos troposféricos | ± 0.5 metros |
| Cambios orbitales | ± 2.5 metros |
| Efecto multitrayectoria | ± 1 metro |
| Errores en los relojes | ± 2 metros |

2.4 Levantamientos con el sistema GPS

Existen distintos equipos y técnicas para realizar un levantamiento con el sistema GPS que están en función de las necesidades y los costos de algún proyecto. Por lo tanto hablaremos brevemente del equipo y técnicas involucrados en esta tesis.

2.4.1 Receptores GPS topográficos y geodésicos

El equipo para realizar un levantamiento con el sistema GPS varía conforme a la marca, el modelo y el precio, sin embargo la mayoría comparten algunos elementos fundamentales. La idea consiste en elegir un receptor con capacidad y características que cumplan las necesidades del trabajo a realizar, en este sentido es importante conocer la calidad de la antena, la precisión y las frecuencias que recibe.

Existen receptores usados para levantamientos topográficos y geodésicos capaces de obtener precisiones centimétricas empleando el método GPS diferencial.

Los receptores de una frecuencia o topográficos, reciben el código C/A modulado en la portadora L1, midiendo pseudorangos y la fase portadora. Utilizando dos receptores para medir líneas base menores de 25km y aplicando las *diferencias*, es posible eliminar los errores inherentes del sistema GPS y obtener precisiones del orden de $\pm (1\text{cm} + 2\text{ppm})$. Estos receptores son muy confiables para levantamientos topográficos.

Los receptores de doble frecuencia o geodésicos, reciben las fases portadoras L1 y L2, y el código C/A. La precisión es más alta, eliminan el retraso atmosférico y los tiempos de observación son más cortos; pero los precios de estos receptores son muy elevados. Estos equipos son utilizados para aplicaciones en Geodesia, y son preferibles para medir líneas base arriba de 150km. Si las condiciones de las observación son buenas, es decir se recibe la señal de más de 8 satélites, el PDOP es menor de 2.5, y el punto medido se encuentra en un lugar alto y despejado, se pueden obtener precisiones de $\pm (5\text{mm} + 1\text{ppm})$.

2.4.2 Método GPS diferencial (DGPS)

El método GPS diferencial (DGPS, Differential Global Position System), se basa en el posicionamiento relativo, descrito anteriormente. Consiste en observar y calcular una línea base entre dos receptores. Cuando estos dos receptores observan los mismos satélites simultáneamente

es posible monitorear, eliminar o minimizar los errores producidos por el retraso en las capas de la atmosfera, la imperfección de los relojes y las orbitas.

Durante las medidas, un receptor se encuentra fijo en una estación de referencia con coordenadas conocidas referidas a un sistema de coordenadas y otro receptor móvil se desplaza para determinar las posiciones requeridas. El receptor fijo es la clave, se encarga de relacionar las medidas del satélite con un punto de coordenadas conocidas; de este modo, la estación de referencia calcula las correcciones entre las medidas, las cuales son aplicadas en el postproceso.

El receptor móvil también realiza sus propias medidas de posicionamiento. Al combinar sus medidas con las correcciones del receptor fijo, obtiene una posición más precisa.

El vector que se forma entre el receptor fijo y el móvil, es conocido como línea base, cuya precisión dependerá del método y técnica de posicionamiento, el tiempo de observación, el tipo de receptor y la longitud de la línea base (imagen 2.4).

2.4.3 Posicionamiento estático

El posicionamiento estático fue la primera técnica usada en Topografía y Geodesia, y lo sigue siendo actualmente. Consiste en la colección de datos de más de seis satélites, por medio de dos o más receptores, que permanecen estacionados durante las sesiones de observación que van de 30 minutos hasta 4 horas. Entre estos receptores se aplica el posicionamiento diferencial DGPS.

Las sesiones de observación dependen de la longitud de la línea base a medir, la cantidad de satélites observados y la geometría de los satélites en el firmamento. En la imagen 2.5 se muestra de manera general la duración de las sesiones de observación para el posicionamiento estático.

Cuando realizamos sesiones de observación de más de una hora, la cantidad de datos almacenados es muy grande. Se podría pensar que entre más tiempo dure la medición se obtiene una mejor precisión; pero de hecho el receptor puede obtener precisiones milimétricas cuando recaba los datos de una época, y como sabemos es en cuestión de segundos.

El receptor necesita de sesiones largas de observación para resolver el problema de las ambigüedades, y esto debe ser para cada cambio de posición, por lo tanto el tiempo de las observaciones son largos.

Las aplicaciones básicas del posicionamiento estático es la determinación de los vectores para las líneas base, redes geodésicas y monitoreo de movimientos tectónicos.

MÉTODO DIFERENCIAL DGPS

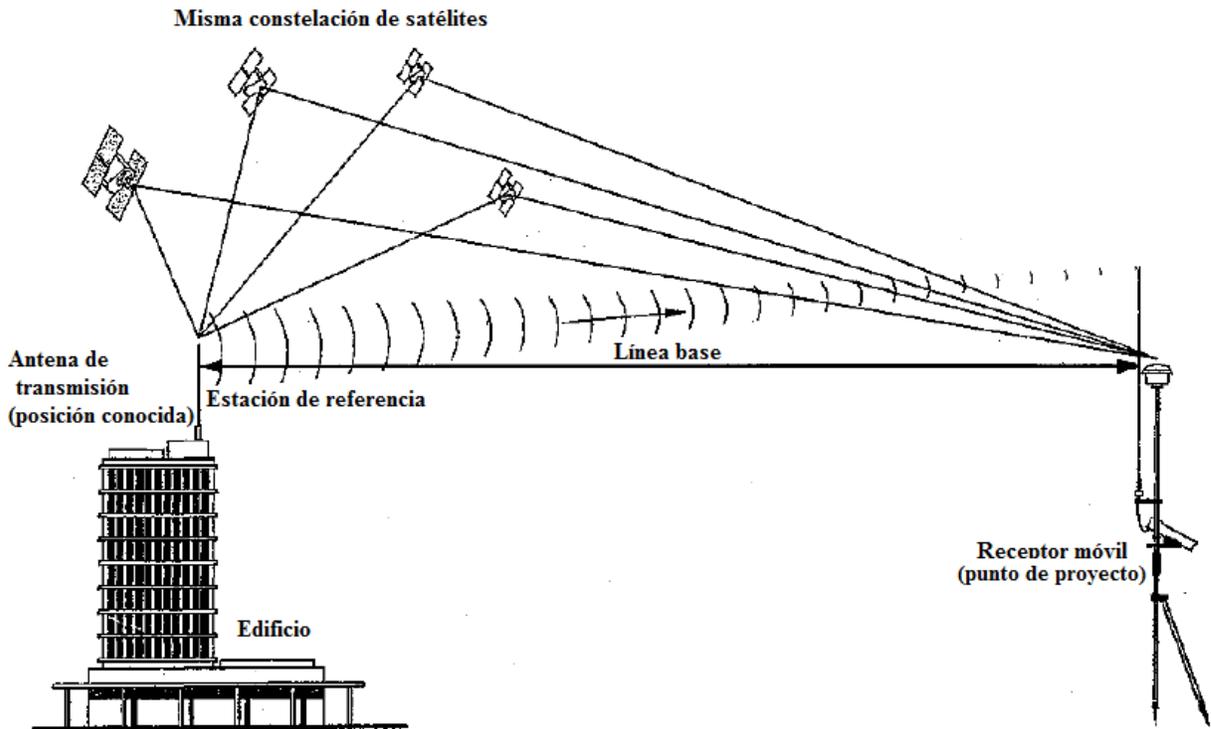


Imagen 2.4 DGPS (Van Sickle: 225)

2.4.4 Postproceso de datos GPS

El proceso de datos o postproceso, es parte importante cuando obtenemos datos mediante receptores GPS. Factores como: yerros humanos, interferencia en las señales y satélites no saludables, pueden afectar el trabajo, pero mediante el postproceso es posible detectarlos y eliminarlos.

El postproceso es una serie de operaciones efectuadas mediante un software destinado a editar las opciones de procesamiento; principalmente es posible: definir el sistema de referencia, establecer el control de calidad en las medidas, ingresar los parámetros de las antenas y definir y editar los puntos de referencia. Al procesar y ajustar las líneas base medidas es posible obtener las coordenadas geodésicas y las coordenadas UTM de los puntos.

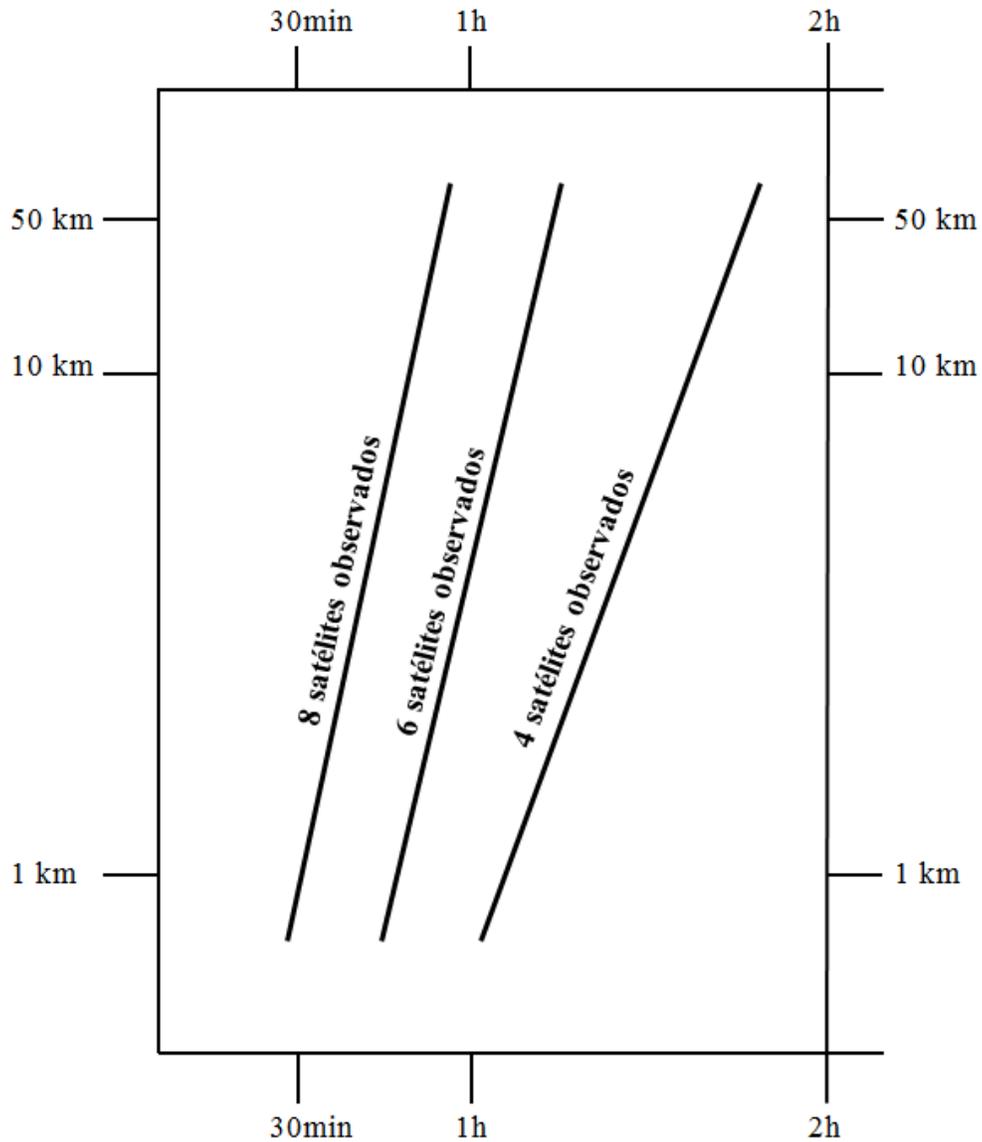


Imagen 2.5 (Van Sickle: 109)

El postproceso es usado para métodos de posicionamiento diferencial; calculando los vectores entre las líneas base, y como hemos visto, las medidas simultáneas de los receptores a los mismos satélites contienen casi los mismos errores, por lo tanto pueden eliminarse y el cálculo de las coordenadas es más preciso.

2.5 Modernización del GPS

El programa de modernización del sistema GPS consiste en implementar tecnología avanzada en las series de satélites del presente y el futuro, que incluyen los bloques GPS II-R(M), GPS II-F y GPS III.

Bloque GPS II-R(M)

La serie II-R(M) conforma la base principal de la constelación actual GPS. Es una versión mejorada de la serie pasada II-R. La letra M en II-R(M) es la primera letra de la palabra *modernizado*, haciendo referencia a las nuevas señales civiles y militares adicionadas a esta generación. El primer satélite fue enviado en septiembre de 2005 y el último fue lanzado en agosto de 2009.

Las principales mejoras son:

1.- Segunda señal para uso civil (L2C): En combinación con el código C/A de la portadora L1, la señal L2 permite la corrección del error por efecto de la ionósfera para receptores civiles de doble frecuencia.

2.- Dos nuevas señales para uso militar.

Bloque GPS II-F

La serie II-F aumenta la capacidad de la serie II-R(M) con la adición de una tercera señal de uso civil encausada a la seguridad en el transporte. La letra F en II-F es el inicio del verbo inglés *follow-on*, que hace referencia al seguimiento de la tecnología de la serie II-R(M). El primer satélite II-F fue lanzado en mayo de 2010 y el segundo en enero de 2012.

Las principales mejoras son:

1.- Funcionamiento de la tercera señal de uso civil (L5) reservada exclusivamente para servicios de seguridad en la aviación.

2.- Satélites con periodo de vida de 12 años.

3.- Relojes atómicos increíblemente precisos.

Bloque GPS III

La serie de satélites GPS III aún se encuentra en la etapa de desarrollo. Esta nueva generación proporcionará señales más poderosas con el fin de incrementar la precisión.

Las principales mejoras son:

1.- Una cuarta señal de uso civil (L1C) diseñada para permitir la interoperatividad entre el GPS y los sistemas de navegación por satélite internacionales.

2.- Satélites con periodo de vida de 15 años.

Cap. 3. Identificación y levantamiento topográfico de inmuebles rústicos

La Geomática es una ingeniería relacionada con diferentes áreas del conocimiento; por lo tanto, los profesionales de esta área deben estar preparados para adaptarse y solucionar algún problema que requiera nuestro estudio.

El problema central de esta tesis es el reconocimiento, identificación y levantamiento de inmuebles rústicos pertenecientes a una compañía minera en el estado de Hidalgo. Las escrituras de los inmuebles tienen una antigüedad de más de 50 años y los terrenos han permanecido abandonados, lo que ha generado dentro de ellos la construcción de asentamientos irregulares, como son casas y cercas, principalmente, por tal motivo será necesario identificar y levantar estos asentamientos y otros detalles que se requieran para recuperar y regularizar dichos inmuebles.

El trabajo total fue para 58 inmuebles localizados en diferentes municipios del estado de Hidalgo; lo cual indicó que no hubo fórmula única para la solución del problema. En cada caso contábamos con más datos topográficos que en otros inmuebles; algunos más grandes que otros; algunos localizados en zona urbana, otros en los suburbios; en algunos casos el terreno plano, en otros escabroso; y así encontramos muchas diferencias. Por lo tanto, para el estudio de este tema de tesis se eligieron dos casos que representan el factor común de los demás.

Un trabajo topográfico es exitoso cuando se entienden perfectamente las necesidades y el propósito requeridos; también es importante la correcta elección de la metodología, el equipo y el personal. Antes de mencionar el desarrollo analítico, técnico y metodológico, es primordial detenerse en los objetivos; teniéndolos en mente, veremos cómo la Geomática nos puede ofrecer, dentro de bases técnicas y teóricas confiables, la solución al problema.

3.1 Objetivos

- Estudiar las escrituras de los inmuebles para extraer datos topográficos: colindancias, rumbos-acimuts y distancias, cuadros de construcción, mojoneras o señales; para dibujar el polígono de los inmuebles y trazarlo en campo.
- Identificar en campo los inmuebles y verificar los datos topográficos de las escrituras.
- Localizar geográficamente los polígonos de los inmuebles.
- Realizar el levantamiento del polígono del inmueble.
- Realizar el levantamiento de los asentamientos irregulares dentro de los inmuebles.

- Realizar un plano topográfico de las áreas de estudio.

3.2 Estudio de la información topográfica recabada

Los casos de los dos inmuebles a estudiar se denominan:

- Caso A: Rancho de Calabazas.
- Caso B: Terreno cerca de Santa Ana.

Para cada caso se proporcionó la escritura de compraventa para extraer la información topográfica.

CASO A: RANCHO DE “CALABAZAS”

A continuación se transcriben los datos topográficos contenidos en la escritura de compraventa de una fracción de terreno del predio rustico denominado Rancho de Calabazas, ubicado en el municipio de Mineral de la Reforma, Hidalgo, el cual quedó inscrito en el Registro Público de la Propiedad el 18 de abril de 1963:

Por el Norte: sobre el arroyo de San Lunes, ciento treinta metros, con Rancho La Cabaña.

Por el Sur: con rumbo S. 71° 00' E. ciento treinta y cinco metros, con Rancho Calabazas.

Por el Este: con rumbo N. 19° 00' E. ciento diecinueve metros, con Rancho de Calabazas.

Por el Oeste: sobre la Barranca de Sosa en ciento veinte metros, con la Compañía de Real del Monte y Pachuca.

Con una superficie total de 1.020 hectáreas.

En las mismas escrituras también se adjunta un plano topográfico, el cual se muestra en el anexo A.

La información contenida en la escritura y el plano son de gran utilidad porque podemos dibujar en un programa de cómputo los rumbos y las distancias que dicta el acta. El plano es posible escanearlo para escalarlo y rotarlo respecto a los datos del acta.

El principal problema es que no se menciona en la escritura una mojonera o señal que indique el punto de partida del levantamiento para ubicar geográficamente el inmueble, por lo que será obligado buscar características identificables en el terreno y el plano anexo para establecer la ubicación del inmueble.

CASO B: TERRENO CERCA DE SANTA ANA

Como en el caso anterior, se transcriben los linderos de la escritura, la cual quedó inscrita en el Registro Público de la Propiedad el 11 de octubre de 1923:

Por el Norte: con terrenos del pueblo del Zerezo, arroyo de por medio.

Por el Oriente: con terrenos de Juan Cruz y de la Compañía de Santa Ana y Anexas.

Por el Suroeste: con propiedad de Sebastián Escobar, y el camino a la mina de Dinamita.

Por el Poniente: con propiedad de Salvador Sierra.

Con una superficie aproximada de 18,823 m².

La información topográfica es muy escasa, solo se cuenta con la superficie; no hay rumbos ni distancias, por lo tanto es imposible dibujarlo. Se menciona un plano, el cual no fue proporcionado porque no se encontró, y es lógico por la antigüedad de la escritura.

3.3 Levantamiento topográfico

La visita a los inmuebles fue determinante para elegir el método de levantamiento. En ambos casos nos encontramos con gran cantidad de construcciones y detalles topográficos obligados a levantar. Como habíamos mencionado anteriormente, esta tesis sólo muestra dos casos de estudio, pero el trabajo real fue para 58 inmuebles en diferentes municipios del estado de Hidalgo, por lo tanto el levantamiento topográfico directo en cada inmueble llevaría mucho tiempo y los recursos para los gastos de campo serían muy altos.

Al llegar a la zona de estudio para el caso B nos enfrentamos con otro problema; la gente ubicada dentro del inmueble fue notificada acerca de la invasión en propiedad privada; por tal motivo, se nos impidió realizar el levantamiento de los asentamientos.

Ante estas circunstancias, la solución fue adquirir una imagen de satélite de alta resolución con cobertura para los 58 inmuebles, sobre la cual fuera posible realizar la identificación y levantamiento solicitado a través de técnicas de análisis espacial; con el fin de reducir tiempo, recursos y evitar problemas con las personas.

La elección y compra de la imagen fue del satélite WorldView-2, perteneciente a DigitalGlobe®, a través de la empresa canadiense PhotoSat.

El satélite WorldView-2 fue lanzado en octubre de 2009; circunda la Tierra a una altitud de 770km y proporciona imágenes con resolución espacial de 0.50m en la banda pancromática y resolución espacial de 1.85m en la banda multiespectral.

Un punto importante al solicitar la imagen fue conseguir una toma reciente para visualizar información actual. A veces es difícil que haya disponibilidad de cobertura de toma reciente si la extensión del terreno es muy grande y con porcentaje de nubosidad mínimo. Haciendo el pedido el 26 octubre de 2012, se consiguió la imagen con fecha de toma del 23 de febrero de 2012, y para nuestro estudio funcionó perfectamente.

Fue necesario solicitar la imagen ortorectificada para disminuir el desplazamiento ocasionado por los cambios en la superficie del terreno, la distorsión por la curvatura terrestre o la inclinación del satélite al momento de la toma, y así realizar medidas confiables de distancias, ángulos y posiciones. Cabe remarcar que la precisión horizontal para una imagen de satélite ortorectificada depende de la precisión vertical disponible para los datos de elevación, que generalmente se obtienen del modelo digital de elevación generado por el radar de la misión SRTM. En terrenos con cambios moderados, el desplazamiento horizontal ocasionado por la precisión de los datos de elevación es menor a 4 metros; pero en terrenos escarpados el error puede ascender a 10 metros.

La imagen WorldView-2 adquirida tiene las siguientes características:

- Fusión de la banda pancromática y multiespectral con una resolución espacial de 0.5m.
- Ortorectificada.
- Proyección cartográfica: UTM zona 14 Norte.
- Elipsoide WGS84.
- Fecha de toma: 23 febrero de 2012

3.3.1 Equipo topográfico utilizado

El equipo utilizado en campo para ambos casos fue el siguiente:

- Dos receptores GPS PROMARK 3, marca MAGELLAN de una banda, con las siguientes características:

- 14 canales paralelos.
- Portadora L1 y código C/A.
- Dos receptores GPS Z-XTREME, marca Ashtech de dos bandas, con las siguientes características:
 - 12 canales paralelos.
 - Código C/A y las portadoras L1 y L2.

3.3.2 Caso A: Rancho de “Calabazas”

El objetivo principal de este caso fue identificar el polígono que define el inmueble que indica la escritura. Dentro del terreno de estudio se encontraron construcciones, de las cuales no se requirió calcular las superficies, debido a que ya contaban con escrituras de muchos años. La principal intención fue demarcar el polígono para el posterior cercado de las áreas sin invasión.

Después de haber identificado plenamente el terreno en base a las colindancias que indica la escritura y el plano anexo, se estableció una línea base sobre el inmueble.

Como veremos más adelante en el proceso y cálculo de gabinete, a partir de una línea base posicionada con GPS es posible obtener la distancia y el acimut entre dos puntos al realizar la transformación de coordenadas geodésicas a ortogonales. Esta línea base, determinada con alta precisión, nos permitirá hacer ortogonal la imagen de satélite, referenciar el polígono del inmueble o tomar las coordenadas y el acimut de partida para un levantamiento topográfico, partiendo de un origen de coordenadas referido al marco ITRF08, época 2010, oficial en México.

La línea base del inmueble se levantó con el receptor GPS Z-XTREME de dos bandas, y debido a la precisión centimétrica requerida, se efectuó el método diferencial con la técnica de posicionamiento estático.

La elección del primer punto de la línea base se estableció de manera que fuera posible su identificación en la imagen y en campo, para esto se eligió el cruce de una calle con un bulevar. En imagen 3.1 se muestra la intersección, resaltado por el cruce de las líneas rojas, donde se colocó el punto de control y origen de coordenadas del levantamiento.



Imagen 3.1

Centrado y nivelado el equipo en el punto de control de la línea, se grabó el tipo de levantamiento:

- Método de posicionamiento: diferencial.
- Nombre del punto de control: PCRC
- Técnica de levantamiento: estático
- El tiempo para un intervalo de medición: 15 segundos (intervalo más frecuente para el posicionamiento estático, el cual coincide con el intervalo de grabación de las estaciones de la RGNA del INEGI).
- Tiempo de grabación: 1.5 horas.

La duración del posicionamiento estático varía dependiendo de tres puntos fundamentales:

- a) la longitud del vector del punto posicionado a las estaciones de referencia.
- b) la cantidad de satélites observados.
- c) la geometría de los satélites en el firmamento.

El punto se ligó a las estaciones TOL2 e ICEP de la RGNA, alejadas de PCRC aproximadamente 135km; durante la grabación se registraron 9 satélites y un PDOP de 1.8. Con estas condiciones el tiempo de observación fue de una hora y media.

A continuación se muestra una foto del equipo Z-XTREME puesto en PCRC.



Imagen 3.2. PCRC

A continuación se posicionó el segundo punto de la línea base a 202.6 metros al noroeste de PCRC, buscando la intervisibilidad entre puntos; logrando esto, se centró y niveló el equipo en el extremo de la línea y se estableció el tipo de levantamiento:

- Método de posicionamiento: diferencial.
- Nombre del punto: LBRC
- Técnica de levantamiento: estático
- El tiempo para un intervalo de medición: 15 segundos
- Tiempo de grabación: 1.5 horas

A continuación una foto del equipo puesto en LBRC



Imagen 3.3. LBRC

El punto se ligó a las estaciones TOL2 e ICEP de la RGNA, alejadas de LBRC aproximadamente 135km; durante la grabación se registraron 9 satélites y un PDOP de 1.8. Al igual que PCRC, el tiempo de observación fue de una hora y media.

Concluyendo el levantamiento de la línea base PCRC-LBRC, se continuó con el trabajo de gabinete.

3.3.3 Caso B: Terreno Cerca de Santa Anna

Como habíamos mostrado anteriormente, para este inmueble la información topográfica de las escrituras es prácticamente nula; es imposible trazar en campo el polígono de estudio con certeza si no se tiene como mínimo un punto de partida, rumbos y distancias.

Para nuestro estudio se identificó un polígono demarcado por las colindancias de las escrituras identificadas en campo; a pesar de que dicho polígono no delimita verazmente el inmueble, es suficiente para comenzar un procedimiento jurídico, para lo cual se requirió medir las superficies asentadas irregularmente, como quedó establecido en uno de los objetivos al inicio de este capítulo.

Los habitantes impidieron la medición de sus casas porque creían que iba en contra de sus derechos, por lo tanto se decidió evitar problemas y trabajar con la imagen de satélite para identificar el polígono del inmueble y calcular las superficies dentro del él.

Se realizó un posicionamiento diferencial estático, solo que el procedimiento fue diferente pues se trabajó con un receptor GPS PROMARK 3 de una banda.

Se posicionó una línea base dentro del inmueble para trabajar con la imagen de satélite; para esto se centró y niveló el equipo en el punto de control de la línea y origen de coordenadas del levantamiento.

El tipo de levantamiento quedó grabado de la siguiente manera:

- Método de posicionamiento: diferencial.
- Nombre del punto de control: PCZE
- Técnica de levantamiento: estático
- El tiempo para un intervalo de medición: 15 segundos

En la imagen 3.4 se muestra el equipo PROMARK 3 posicionado en PCZE.



Imagen 3.4. PCZE

Para realizar el posicionamiento diferencial, mientras el receptor se quedó grabando en PCZE, con el receptor móvil nos desplazamos a un punto cercano de coordenadas conocidas y oficiales.

En ese caso no fue recomendable seleccionar una estación fija del INEGI, pues la más cercana, TOL2, se encuentra alejada del inmueble aproximadamente 135km, distancia demasiado larga para trabajar con un receptor topográfico, lo cual hubiera afectado la precisión del posicionamiento.

Por esta razón se seleccionó el punto PC-5137 de la Subred Geodésica Minera del INEGI, materializada mediante la densificación de la RGNA del INEGI. El punto se localiza en el municipio de Mineral de la Reforma, Hidalgo, y se identifica a través de una mojonera.

En la siguiente imagen se aprecia el equipo en la mojonera del punto.



Imagen 3.5. PC-5137

El tipo de grabación para el PC5137, se configuró de la siguiente manera:

- Método de posicionamiento: diferencial
- El nombre del punto: 5137
- Técnica de levantamiento: estático
- El tiempo para un intervalo de medición: 15 segundos
- Tiempo de grabación: 40 min

La distancia aproximada entre PCZE y PC-5137 es de 5.5 km, se observaron 8 satélites y el PDOP fue de 1.8. Las condiciones fueron excelentes y la línea base corta; el tiempo de observación para este punto hubiera bastado con 30 minutos, pero para mayor confianza, el tiempo de grabación fue de 40 minutos.

Terminando de observar en este punto se logró tener una liga del punto de coordenadas conocidas al nuevo punto de origen de coordenadas PCZE, a partir del cual se derivaron las coordenadas del segundo punto de la línea base.

Regresando al inmueble, se eligió una mojonera que se encontró a 178 metros al sureste de PCZE, para colocar el extremo de la línea base, LBZE, logrando una distancia adecuada y la intervisibilidad entre puntos.

A continuación se muestra una imagen del equipo en el punto LBZE:



Imagen 3.6. LBZE

El tipo de grabación se configuró de la siguiente manera:

- Método de posicionamiento: diferencial
- El nombre del punto: LBZE
- Técnica de levantamiento: estático
- El tiempo para un intervalo de medición: 15 segundos

- Tiempo de grabación: 47 min

Como mencionamos, la distancia de PCZE a LBZE, es de 178 metros, se observaron 9 satélites y el PDOP fue de 1.5. Sin ningún problema se aseguró una medición confiable.

Con el posicionamiento de las líneas base para el caso “A” y “B”, se concluyó el trabajo de campo. A continuación se tratará el proceso de los datos que se realizaron en gabinete.

3.4 Trabajo de gabinete

A continuación trataremos el proceso y cálculo de los datos obtenidos en campo y cómo los aplicaremos para trabajar en base a la imagen de satélite.

3.4.1 Software utilizado

El software utilizado para el proceso y ajuste de datos en ambos casos fue el siguiente:

- GNSS Solutions, para procesar la información obtenida de las señales de los satélites y obtener coordenadas geodésicas.
- MSP GEOTRANS 3.0; para la transformación de coordenadas.
- Herramienta en internet en la página del INEGI del modelo geoidal GGM10, para la determinación de alturas ortométricas.
- Hoja de Excel para el cálculo y obtención de coordenadas ortogonales a partir de coordenadas geodésicas.
- AutoCAD Civil 3D de AUTODESK, para importar puntos medidos en campo y realizar el dibujo y plano topográfico.
- AutoCAD Raster Desing de AUTODESK, para procesar la imagen de satélite.

3.4.2 Caso A: Rancho de “Calabazas”

Se inició con el postproceso del levantamiento de la línea base PCRC-LBRC, para esto se descargaron los datos del receptor Z-EXTREME al software GNSS Solutions.

Como se trabajó con equipo de doble banda se decidió ligar los puntos de la línea base a las estaciones de la RGNA del INEGI para obtener mayor precisión y una liga directa al marco oficial ITRF08 época 2010. Se descargaron los archivos RINEX de las estaciones TOL2 (Toluca) e ICEP (Puebla), siendo las más cercanas a nuestro levantamiento.

Cuando abrimos el software de postproceso definimos las opciones básicas del proyecto (imagen 3.7), como son el sistema de referencia espacial (latitud y longitud), el datum, el elipsoide, la zona horaria y las unidades lineales:

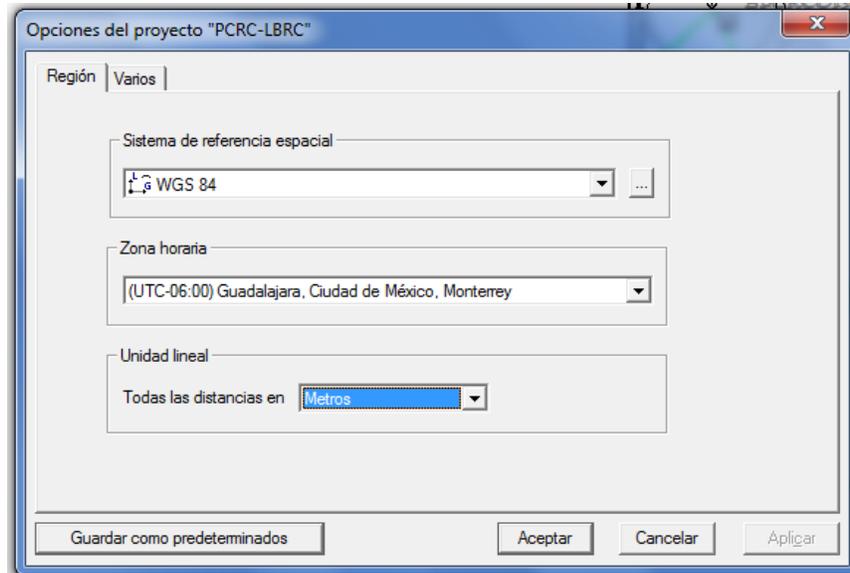


Imagen 3.7

También definimos el control de calidad de nuestras medidas (imagen 3.8), estableciendo la precisión deseada del proyecto

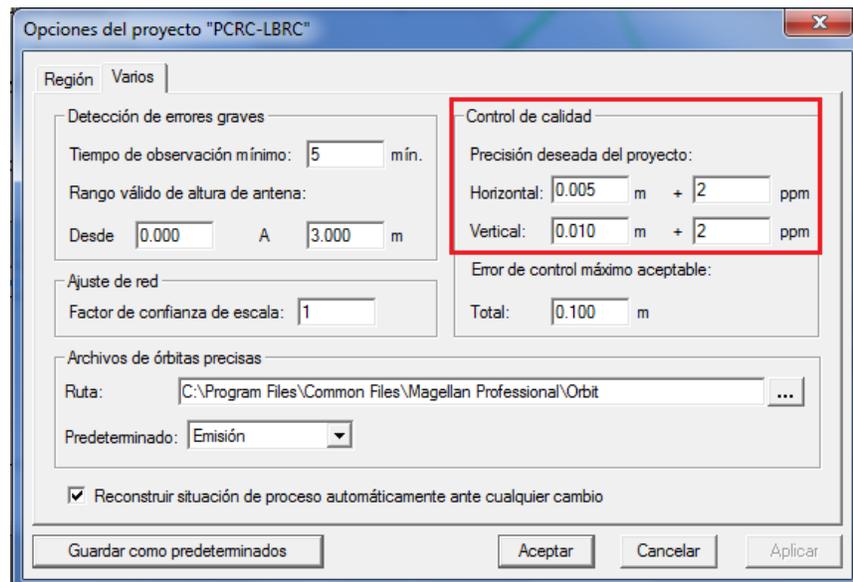


Imagen 3.8

Las coordenadas precisas de las estaciones se encuentran en el calendario GPS que publica el INEGI, y las de nuestro interés son las siguientes:



Calendario GPS 2013

COORDENADAS GEODÉSICAS DE LAS ESTACIONES DE LA RGNA (ITRF2008, ÉPOCA 2010.0)

| Nombre de la Estación | Latitud Norte | Longitud Oeste | Altura Geodésica (m) | Altura vertical de la Antena (m) | Receptor | Antena según fabricante | Antena según National Geodetic Survey |
|-----------------------|----------------|----------------|----------------------|----------------------------------|----------|-------------------------|---------------------------------------|
| ICEP | 19 01 58.88475 | 98 11 15.35143 | 2150.327 | 0.214 | ZXII | L1/L2 Geodetic | ASH 700228 D |
| TOL2 | 19 17 35.64347 | 99 38 36.50048 | 2651.730 | 0.148 | 5700 | Zephyr Geodetic | TRM 41249.00 |

Antes de iniciar el proceso y ajuste de datos, se requirió fijar los puntos de control (imagen 3.9), por lo tanto se ingresaron las coordenadas del calendario GPS 2013 para ICEP y TOL2, definiendo los puntos de control, a partir de donde se determinan los vectores para obtener las coordenadas buscadas de los puntos levantados:

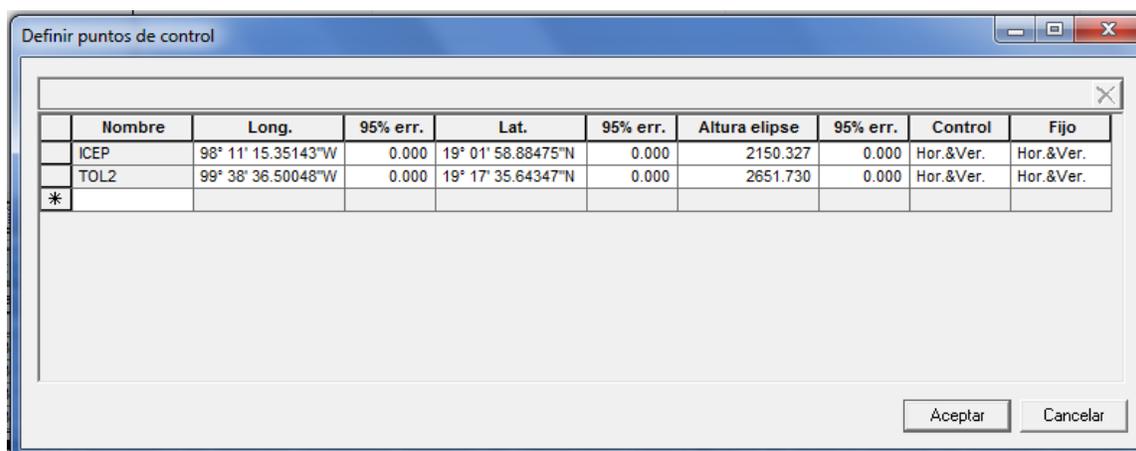


Imagen 3.9

Es importante verificar las antenas y sus parámetros, el software generalmente lo hace automáticamente, sin embargo se recomienda revisarlos. También es recomendable verificar que los nombres de los puntos levantados y las alturas de las antenas sean correctos antes de procesar.

A continuación observamos los vectores y puntos (imagen 3.10). Como la distancia que existe entre las estaciones TOL2 e ICEP y los puntos de la línea PCRC-LBRC es de 133 km aproximadamente, en pantalla no se aprecia la separación de 200 metros entre los puntos PCRC y LBRC. Si se hace un acercamiento podemos apreciar los vectores TOL2-PCRC, TOL2-LBRC, ICEP-PCRC, ICEP-LBRC y ICEP-TOL2.

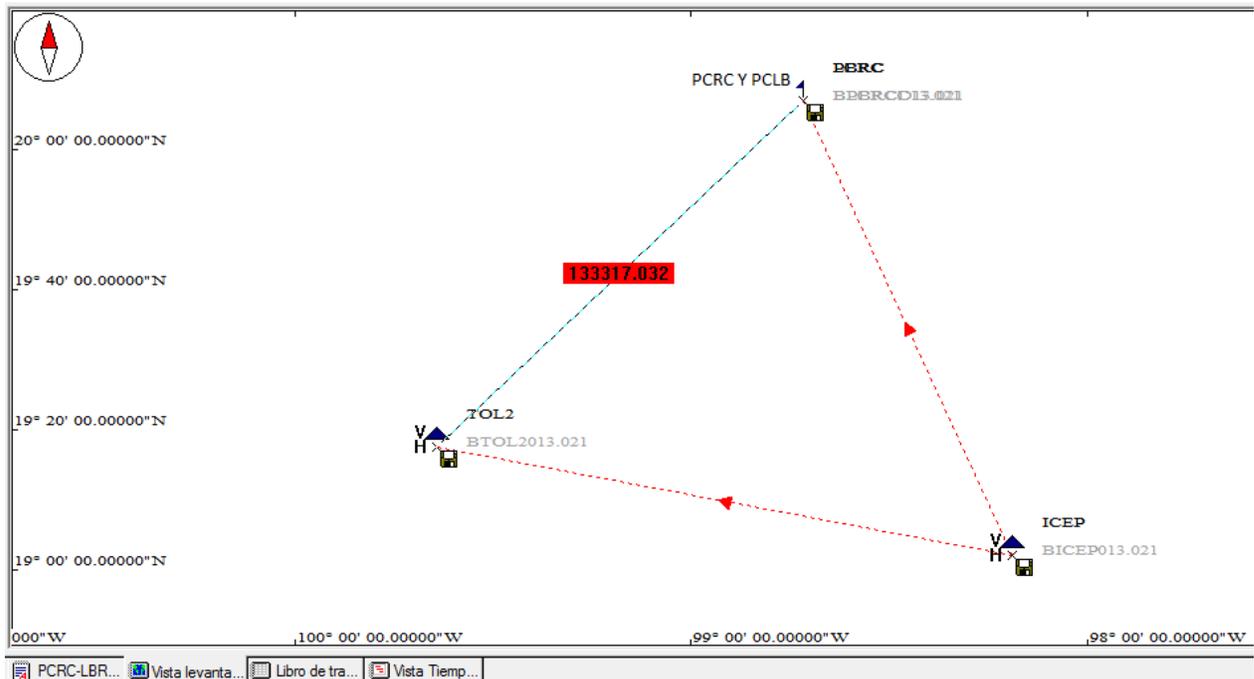


Imagen 3.10

Se procesaron las líneas base para obtener las coordenadas de PCRC y LBRC a partir de TOL2 e ICEP, resultando lo siguiente (imagen 3.11):

Como los vectores son color rojo, indica que no se alcanzó la precisión esperada para el levantamiento y la elipse de error, como vemos en la esquina inferior derecha, marca 0.166m.

En la tabla (imagen 3.12) observamos que solo se obtuvieron dos soluciones fijas, para los vectores ICEP-LBRC e ICEP-TOL2, lo cual es buen indicador pues se resolvieron la mayor parte de las ambigüedades; desafortunadamente los demás vectores quedaron móviles. Los valores de confianza para X y Y se encuentran en los 0.260m y 0.325m, considerándose altos. Por otro lado el PDOP y la cantidad de satélites para las observaciones fueron muy favorables.

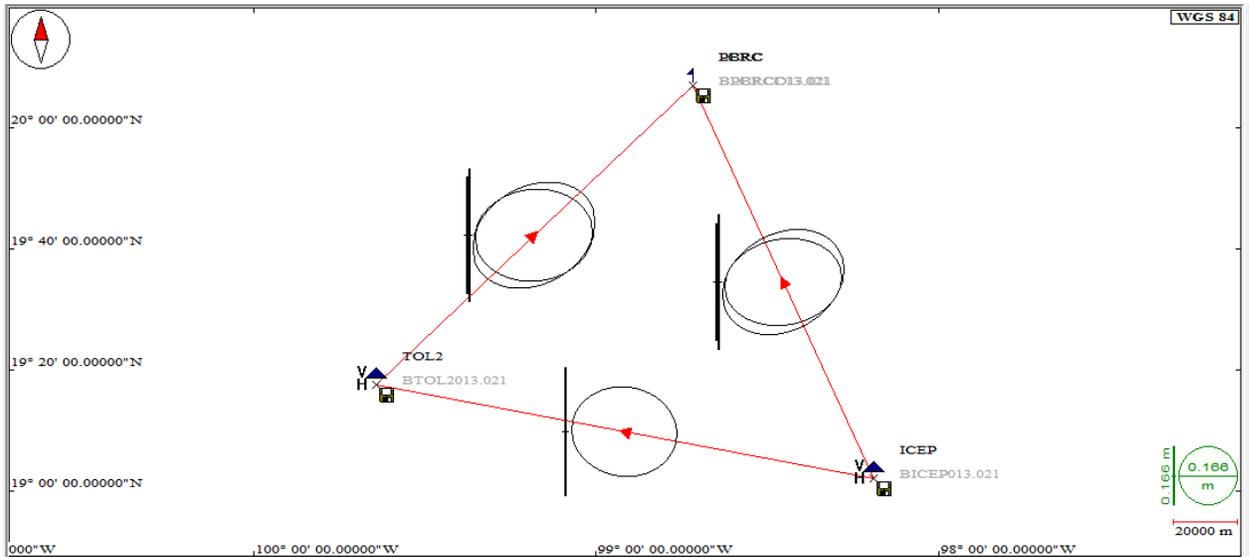


Imagen 3.11

| | Referencia | Remoto | Hora_Inicial | QA_Proc | Solución | Longitud_Pro | Conf_Longitud_Pro | DX_Proc | Conf_DX_Proc | DY_Proc |
|---|------------|--------|---------------------------|--------------------------|----------|--------------|-------------------|-------------|--------------|-----------|
| 1 | ICEP | PCRC | 21 enero 2013 15:10:07.50 | <input type="checkbox"/> | Móvil | 132192.374 | 0.792 | -48970.834 | 0.322 | 47671.532 |
| 2 | ICEP | LBRC | 21 enero 2013 16:11:45.00 | <input type="checkbox"/> | Fijo | 132388.229 | 0.642 | -48994.986 | 0.260 | 47748.408 |
| 3 | ICEP | TOL2 | 21 enero 2013 07:30:15.00 | <input type="checkbox"/> | Fijo | 155882.212 | 0.754 | -149951.822 | 0.306 | 32617.611 |
| 4 | TOL2 | PCRC | 21 enero 2013 15:10:07.50 | <input type="checkbox"/> | Móvil | 133344.374 | 0.797 | 100980.991 | 0.324 | 15053.842 |
| 5 | TOL2 | LBRC | 21 enero 2013 16:11:45.00 | <input type="checkbox"/> | Móvil | 133454.358 | 0.793 | 100956.675 | 0.322 | 15130.858 |

| Conf_DY_Proc | DZ_Proc | Conf_DZ_Proc | Período_Ti | SVs | PDOP |
|--------------|------------|--------------|-------------|-----|------|
| 0.323 | 113155.231 | 0.318 | 00:45:00.00 | 9 | 1.8 |
| 0.260 | 113341.184 | 0.260 | 00:45:15.00 | 9 | 1.8 |
| 0.306 | 27382.597 | 0.306 | 06:59:45.00 | 10 | 1.4 |
| 0.325 | 85772.625 | 0.320 | 00:45:00.00 | 9 | 1.8 |
| 0.323 | 85958.553 | 0.320 | 00:45:15.00 | 10 | 1.6 |

Imagen 3.12

Como los resultados obtenidos en el proceso no fueron los esperados, se siguió con el ajuste por mínimos cuadrados de las líneas base para corregir nuestros resultados, disminuir el error y mejorar la precisión de los puntos levantados.

En la imagen 3.13 observamos que en la vista del levantamiento los vectores cambiaron a color verde, lo cual indica que se realizó el ajuste dentro de las condiciones esperadas. También observamos que la elipse de error, en la esquina inferior derecha, quedó en 0.049m.

Como observamos en el rectángulo rojo de la imagen 3.14, se ha superado la prueba de control de calidad para la solución ajustada y la prueba tau. La prueba tau, analiza los residuales para conocer la calidad de las observaciones, es decir, determina si existen errores graves y si los residuales se encuentran en los límites esperados. Una observación será excelente cuando los residuales queden en cero.

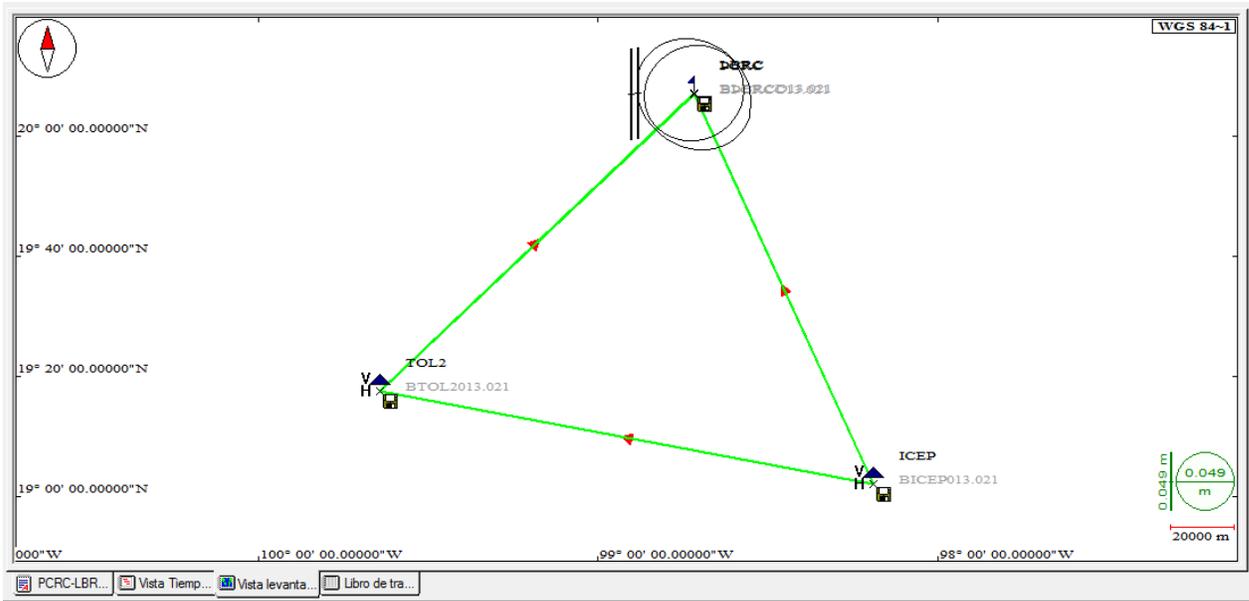


Imagen 3.13

| | Referencia | Remoto | Hora_Inicial | Aj_QA | Prueba | Aj_Long | Residual_Longitu | Aj_DX | Residual_DX | Aj_DY | Residual_DY |
|---|------------|--------|---------------------------|-------|--------|------------|------------------|-------------|-------------|-----------|-------------|
| 1 | ICEP | PCRC | 21 enero 2013 15:10:07.50 | ✓ | ✓ | 132192.349 | 0.046 | -48970.808 | 0.026 | 47671.494 | -0.038 |
| 2 | ICEP | LBRC | 21 enero 2013 16:11:45.00 | ✓ | ✓ | 132388.237 | 0.052 | -48995.028 | -0.042 | 47748.432 | 0.024 |
| 3 | ICEP | TOL2 | 21 enero 2013 07:30:15.00 | ✓ | ✓ | 155882.166 | 0.049 | -149951.773 | 0.049 | 32617.613 | 0.002 |
| 4 | TOL2 | PCRC | 21 enero 2013 15:10:07.50 | ✓ | ✓ | 133344.360 | 0.047 | 100980.965 | -0.026 | 15053.880 | 0.039 |
| 5 | TOL2 | LBRC | 21 enero 2013 16:11:45.00 | ✓ | ✓ | 133454.414 | 0.081 | 100956.745 | 0.070 | 15130.819 | -0.039 |

| Aj_DZ | Residual_DZ |
|------------|-------------|
| 113155.229 | -0.002 |
| 113341.165 | -0.019 |
| 27382.602 | 0.005 |
| 85772.627 | 0.002 |
| 85958.563 | 0.011 |

Imagen 3.14

Por último observamos en la imagen 3.15 que todos los vectores se ajustaron y los valores de confianza horizontal se encuentran entre 0.144m-0.167m. Las coordenadas obtenidas son confiables, debido a que se trabajó con un receptor GPS geodésico de doble banda, se ligó directamente con la RGNA del INEGI y el resultado del ajuste fue superado.

Se recomienda en este caso, para obtener una mejor precisión, aumentar el tiempo de grabación de los datos para los posicionamientos; el tiempo de grabación de datos para estos puntos fue de 1.5 horas, la precisión se hubiera mejorado con una grabación aproximada de 4 horas como mínimo.

El informe del postproceso de la línea base PCRC-LBRC, se encuentra en el anexo D.

| | Nombre | Descripción | Long | Lat | Altura | Estatus | Limitaciones | Conf_Horz_Levt | Conf_Altura_Levt |
|---|--------|-------------|-------------------|--------------------|----------|----------|-------------------------------|----------------|------------------|
| 1 | ICEP | | 98° 11' 15.35143" | 19° 01' 58.88475"N | 2150.327 | Ajustado | &Fijo horizontal y vertical (| 0.000 | 0.000 |
| 2 | LBRC | | 98° 42' 58.33524" | 20° 07' 06.57382"N | 2410.288 | Ajustado | Sin limitaciones | 0.144 | 0.076 |
| 3 | PCRC | | 98° 42' 57.11012" | 20° 07' 00.08926"N | 2414.299 | Ajustado | Sin limitaciones | 0.167 | 0.075 |
| 4 | TOL2 | | 99° 38' 36.50048" | 19° 17' 35.64347"N | 2651.730 | Ajustado | &Fijo horizontal y vertical (| 0.000 | 0.000 |

Imagen 3.15

Las coordenadas obtenidas de PCRC y LBZE son geodésicas: latitud, longitud y altura elipsoidal. Estas coordenadas son indispensables para trabajos geodésicos, pero resultan poco prácticas por tres razones principales:

- La posición de los puntos se expresa mediante unidades angulares.
- El valor lineal de estas unidades varía en función de la latitud del lugar.
- La dirección de los meridianos, a partir de los cuales se registran acimuts, no son paralelos entre sí.

Es por esto que se prefiere valerse de un sistema de coordenadas planas rectangulares u ortogonales, donde es más cómodo trabajar y quedan definidas con propiedades geométricas euclidianas. Con este sistema no es posible trabajar en extensiones de terreno muy grandes, ya que la superficie del elipsoide no puede extenderse en un plano sin que existan errores por distorsión.

En los sistemas de coordenadas planas, la superficie del elipsoide es representada sobre un plano, en donde la exigencia principal es la mínima distorsión de los elementos de la superficie del elipsoide al ser expresados en el plano.

Para la transformación de coordenadas geodésicas a ortogonales para nuestra línea base se realizó lo siguiente.

Primero se transformaron las coordenadas geodésicas a UTM, desde el programa GNSS Solutions.

| Punto | Geodésicas | | | UTM | |
|-------|---------------------|---------------------|-------------------|-------------|---------------|
| | Lat. | Long. | Altura elipsoidal | Este | Norte |
| PCRC | 20° 07' 00.08926" N | 98° 42' 57.11012" W | 2,414.299 | 529,700.249 | 2,224,419.799 |
| LBRC | 20° 07' 06.57382" N | 98° 42' 58.33524" W | 2,410.288 | 529,664.337 | 2,224,619.071 |

Para la transformación de alturas elipsoidales a alturas ortométricas se utilizó el sistema SIAG10, basado en el geoide gravimétrico mexicano GGM10, disponible en la página de internet del INEGI.

Para el cálculo de coordenadas geodésicas a coordenadas ortogonales, trabajamos con alturas ortométricas debido a que es un sistema de alturas referidas al geoide, lo cual nos otorga resultados de elevaciones consistentes aproximadas al nivel medio del mar. Las alturas ortométricas para los puntos son las siguientes:

| Punto | Altura elipsoidal | Altura ortométrica |
|-------|-------------------|--------------------|
| PCRC | 2,414.299 | 2,419.980 |
| LBRC | 2,410.288 | 2,416.010 |

Para establecer la línea base en coordenadas ortogonales seleccionamos el punto PCRC como origen de coordenadas para el levantamiento, y a partir del cual se derivarán las subsecuentes coordenadas.

Las fórmulas utilizadas para la transformación de coordenadas geodésicas a coordenadas ortogonales son las siguientes:

Datos:

Elipsoide de referencia: GRS80.

Semieje mayor (a)= 6, 378, 137.000m

Semieje menor (b)= 6, 356, 752.314m

Excentricidad (e)= 0.081819191

Punto origen de coordenadas: PCRC

Este (E)= 529,700.249m

Norte (N)= 2, 224, 619.071m

Formulas:

$$\text{Diferencia de latitudes} \quad \Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$$

$$\text{Diferencia de longitudes} \quad \Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$$

$$\text{Latitud media} \quad \varphi_m = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}$$

$$\text{Normal mayor} \quad N = \frac{1}{(1 - e^2 \text{sen}^2 \varphi_2)^{1/2}}$$

$$\text{Radio medio} \quad \rho = \frac{a(1 - e^2)}{(1 - e^2 \text{sen}^2 \varphi_2)^{3/2}}$$

A continuación las constantes geodésicas para el lugar

$$A = \frac{1}{N \text{sen} 1''}$$

$$B = \frac{1}{\rho \text{sen} 1''}$$

$$C = \frac{\tan \varphi_m}{N \text{sen} 1''}$$

$$D = \frac{\frac{3}{2} e^2 \text{sen} 1'' \text{sen} \varphi_m \cos \varphi_m}{(1 - e^2 \text{sen}^2 \varphi_m)^{3/2}}$$

Proyecciones ortogonales en el elipsoide

$$P_x = \frac{-\Delta \lambda \cos \varphi_2}{A}$$

$$P_y = \frac{\Delta \varphi}{B + \frac{C P_x^2}{B + \frac{D \Delta \varphi^2}{B}}}$$

Angulo entre proyecciones

$$Az = \theta = \text{angtan} \frac{P_x}{P_y}$$

Distancia horizontal en el elipsoide

$$Dh_e = \sqrt{P_x^2 + P_y^2}$$

$$\text{Altitud ortometrica media} \quad H_m = \frac{H_1 + H_2}{2}$$

$$\text{Radio} \quad R = \frac{N\rho}{N\cos^2\theta + \rho\text{sen}^2\theta}$$

$$\text{Distancia topográfica} \quad D_{topo} = Dh_e + H_m \frac{Dh_e}{R} + H_m \left(\frac{Hh_e}{R} \right)^2$$

Proyecciones topográficas

$$Pt_x = D_{topo} \text{sen}Az$$

$$Pt_y = D_{topo} \text{cos}Az$$

Coordenadas topográficas referidas al origen de coordenadas

$$x = Pt_x + E$$

$$y = Pt_y + N$$

Nota: los cálculos en las formulas anteriores se realizan en radianes.

Las coordenadas ortogonales y el azimut de la línea base PCRC-LBRC a partir de coordenadas geodésicas son:

| Punto | x | y |
|-------|-------------|---------------|
| PCRC | 529,700.249 | 2,224,419.799 |
| LBRC | 529,664.650 | 2,224,619.286 |

| | |
|-------------------------|-----------------------|
| Azimut PCRC-LBRC | 349° 52' 54.4" |
|-------------------------|-----------------------|

De esta manera se obtuvieron las coordenadas ortogonales de la línea base, con origen de coordenadas en PCRC ligado al marco de referencia ITRF08 época 2010, por lo tanto será posible representar nuestra línea en la imagen satelital adquirida.

Para determinar la ortogonalidad de la imagen de satélite y realizar nuestro análisis espacial, se utilizaron las coordenadas previamente calculadas.

Al ingresar los puntos en la imagen (imagen 3.16) observamos como nuestro PCRC está desplazado aproximadamente 2 metros de donde se colocó el punto en el terreno, por lo tanto mediante AutoCAD Raster Desing, se desplazó la imagen a nuestro origen de coordenadas para obtener una mejor georeferencia.

El último paso para determinar la ortogonalidad de la imagen, fue rotar desde PCRC la diferencia angular entre el azimut de la línea base en coordenadas ortogonales y el azimut de la línea base en coordenadas UTM.

$$Az_{Orto} - Az_{UTM} = 349^{\circ}52'54.4'' - 349^{\circ}47'02.5'' = 0^{\circ}05'51.9''$$

Por lo tanto, mediante AutoCAD Raster Desing, rotamos la imagen $0^{\circ} 05' 51.9''$, estableciendo el acimut topográfico. De esta manera ya no se puede hablar de una imagen en la proyección UTM, porque esta se ha movido y rotado, de manera que ha quedado ortogonal respecto a la línea base levantada.

En la imagen 3.17 podemos observar la diferencia angular entre la línea base en coordenadas UTM (rojo) y la línea base en coordenadas ortogonales (azul).

Por último, trabajamos con los datos de las escrituras y el plano anexo a ellas para identificar el inmueble denominado Rancho de Calabazas.

En AutoCAD dibujamos los rumbos y las distancias asentadas en las escrituras

- Por el Este: 135m S. $71^{\circ} 00'$ E.
- Por el Sur: 119m N. $19^{\circ} 00''$ E.

Con esos datos, se usó el plano anexo a las escrituras para escalarlo y rotarlo respecto a los rumbos y distancias mencionados; después se vectorizó para completar el polígono con los linderos de la barranca de Sosa, con 120m, y el Arroyo San Lunes, con 130m (imagen 3.18).

El polígono vectorizado se hizo coincidir con los linderos ubicados en campo y en la imagen; los más claros fueron la barranca de Sosa y el Arroyo San Lunes, en la imagen se aprecian los árboles que definen lo que era el arroyo y la barranca (imagen 3.19).

De esta manera quedó identificado el polígono del inmueble denominado Rancho de Calabazas.

En anexo B, se muestra el plano con el polígono identificado que se asienta en las escrituras y también un polígono definido por los linderos del inmueble y las construcciones dentro de él, dibujado y calculado directamente de la imagen ortogonal con AutoCAD Civil 3D, ambos con su cuadro de construcción correspondiente.



Imagen 3.16

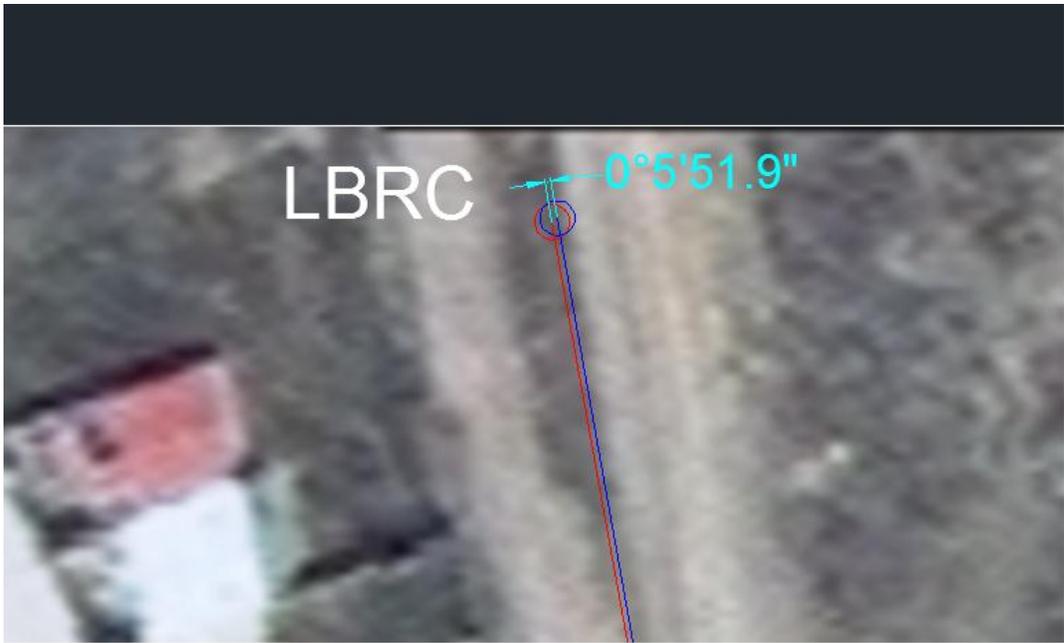


Imagen 3.17



Imagen 3.18

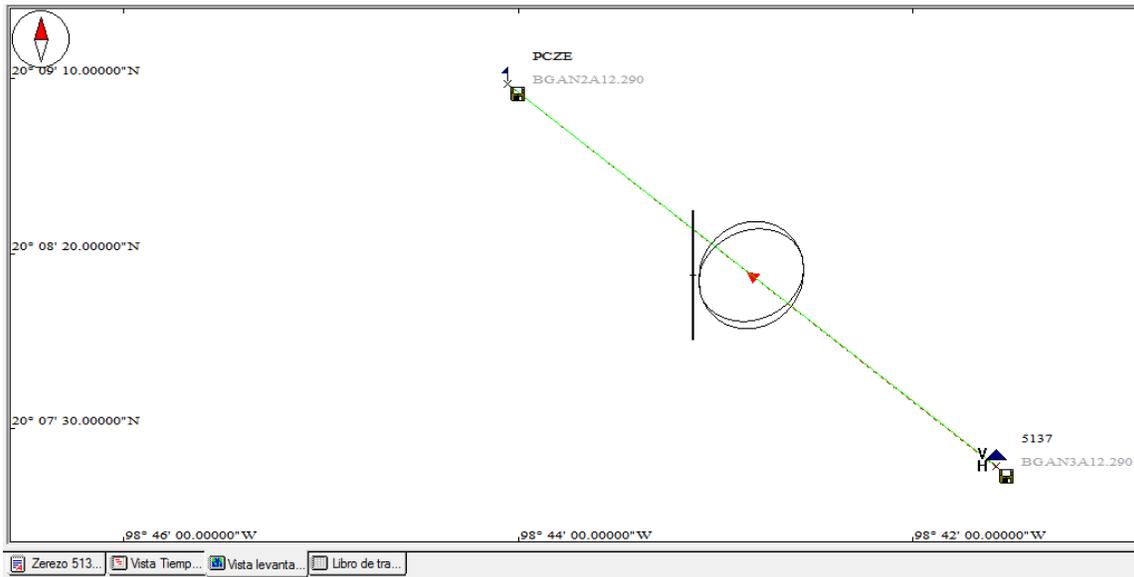


Imagen 3.19

3.4.3 Caso B: Terreno Cerca de Santa Anna

Como habíamos mencionado en el trabajo de campo, el origen de coordenadas PCZE, que colocamos en este inmueble, se ligó al punto de la Subred Geodésica Minera, PC-5137. Las coordenadas de este punto se encuentran en el marco ITRF92 época 1988, por lo tanto para hacer el proceso del vector que va del PC-5137 a PCZE, se transformaron las coordenadas del 5137 al marco ITRF08, de manera que el punto posicionado PCZE, se encuentre en el marco oficial ITRF08.

Para la transformación se utilizó el programa TRANITRF, señalado por la Norma Técnica Geográfica del Sistema Geodésico Nacional para la transformación de coordenadas geodésicas, disponible en el sitio de internet del INEGI. Los resultados fueron los siguientes:



Opciones del proyecto "Zerezo 5137-PCZE"

Región: Varios

Detección de errores graves

Tiempo de observación mínimo: 1 m in.

Rango válido de altura de antena:

Desde: 0.000 A: 3.000 m

Ajuste de red

Factor de confianza de escala: 1

Control de calidad

Precisión deseada del proyecto:

Horizontal: 0.010 m + 2 ppm

Vertical: 0.010 m + 2 ppm

Error de control máximo aceptable:

Total: 0.100 m

| | Referencia | Remoto | Hora_Inicial | QA_Proc | Solución | Longitud_Pro | Conf_Longitud_Pro | DX_Proc | Conf_DX_Proc | DY_Proc | Conf_DY_Proc |
|---|------------|--------|-----------------------------|-------------------------------------|----------|--------------|-------------------|-----------|--------------|----------|--------------|
| 1 | 5137 | PCZE | 16 octubre 2012 11:49:52.50 | <input checked="" type="checkbox"/> | Fijo | 5483.266 | 0.027 | -4106.542 | 0.011 | 1749.183 | 0.011 |
| 2 | 5137 | PCZE | 16 octubre 2012 12:20:45.00 | <input checked="" type="checkbox"/> | Fijo | 5483.265 | 0.027 | -4106.542 | 0.011 | 1749.186 | 0.011 |

| DZ_Proc | Conf_DZ_Proc | Período_Ti | SVs | PDOP | Dinámico |
|----------|--------------|-------------|-----|------|--------------------------|
| 3184.788 | 0.011 | 01:02:00.00 | 8 | 1.8 | <input type="checkbox"/> |
| 3184.785 | 0.011 | 01:02:00.00 | 8 | 1.8 | <input type="checkbox"/> |

Imagen 3.20

| | Referencia | Remoto | Hora_Inicial | Aj_QA | Prueba | Aj_Long | Residual_Longitu | Aj_DX | Residual_DX | Aj_DY | Residual_DY | Aj_DZ | Residual_DZ |
|---|------------|--------|-----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------|------------------|-----------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|
| 1 | 5137 | PCZE | 16 octubre 2012 11:49:52.50 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 5483.265 | 0.002 | -4106.542 | -0.000 | 1749.184 | 0.001 | 3184.787 | -0.001 |
| 2 | 5137 | PCZE | 16 octubre 2012 12:20:45.00 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 5483.265 | 0.003 | -4106.542 | 0.000 | 1749.184 | -0.002 | 3184.787 | 0.002 |

Imagen 3.21

Las coordenadas obtenidas en el postproceso para PCZE son las siguientes:

| Punto | Geodésicas | | | UTM | |
|-------|---------------------|---------------------|-------------------|-------------|---------------|
| | Lat. | Long. | Altura elipsoidal | Este | Norte |
| PCZE | 20° 09' 08.68404" N | 98° 44' 03.41239" W | 2,684.951 | 527,768.799 | 2,228,369.576 |

En el anexo E, se muestra el informe del procesamiento del vector PC5137-PCZE.

A continuación se procesó la línea base PCZE-LBZE, ubicada dentro del inmueble a identificar; el punto PCZE calculado anteriormente será el punto de control y origen de coordenadas en el marco ITRF08, a partir del cual se derivarán las coordenadas del segundo punto de la línea base LBZE.

Se cargaron los datos del PCZE y de LBZE; fijamos el punto de control PCZE; revisamos que los parámetros de las antenas, las alturas de las antenas y los nombres de los puntos sean correctos; procesamos y ajustamos la línea base.

En la imagen 3.22 observamos que al procesar, el vector quedó color verde, indicando que se superó la prueba del control de calidad, obteniendo una muy buena precisión. La solución fue fija, por lo tanto se resolvieron las ambigüedades; la confianza en DX y DY fue de 0.001m; y el PDOP de 1.5.

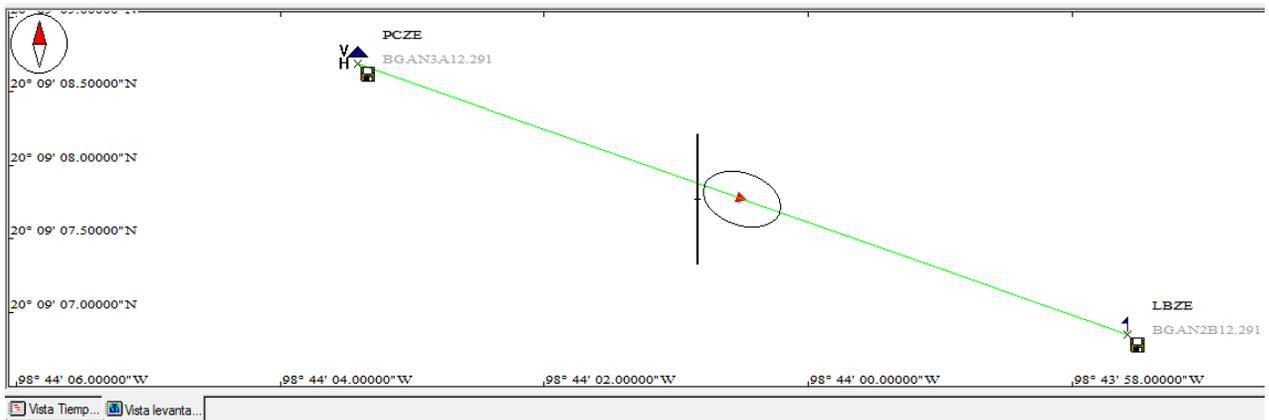
Los resultados del proceso fueron excelentes, solo resta realizar el ajuste para eliminar algunos errores y mejorar la precisión.

La calidad de la observación fue excelente (imagen 3.23), las pruebas de ajuste y tau fueron superadas y los residuales quedaron en cero.

Las coordenadas obtenidas del postproceso para LBZE son:

| Punto | Geodésicas | | | UTM | |
|-------|---------------------|---------------------|-------------------|-------------|---------------|
| | Lat. | Long. | Altura elipsoidal | Este | Norte |
| LBZE | 20° 09' 06.85585" N | 98° 43' 57.58514" W | 2,661.244 | 527,938.050 | 2,228,313.649 |

En el anexo F, se muestra el informe del procesamiento del vector PCZE-LBZE.



Opciones del proyecto "PCZE LBZE"

Región: Varios

Detección de errores graves

Tiempo de observación mínimo: 4 m.in.

Rango válido de altura de antena:

Desde: 0.000 A: 3.000 m

Ajuste de red

Factor de confianza de escala: 1

Control de calidad

Precisión deseada del proyecto:

Horizontal: 0.005 m + 2 ppm

Vertical: 0.010 m + 2 ppm

Error de control máximo aceptable:

Total: 0.100 m

Libro de trabajo.tbl - PCZE LBZE - WGS 84 - Metros

| | Referencia | Remoto | Hora_Inicial | QA_Proc | Solución | Longitud_Pro | Conf_Longitud_Pro | DX_Proc | Conf_DX_Proc | DY_Proc | Conf_DY_Proc |
|---|------------|--------|-----------------------------|-------------------------------------|----------|--------------|-------------------|---------|--------------|---------|--------------|
| 1 | PCZE | LBZE | 17 octubre 2012 10:56:15.00 | <input checked="" type="checkbox"/> | Fijo | 179.964 | 0.002 | 167.772 | 0.001 | -22.860 | 0.001 |

| DZ_Proc | Conf_DZ_Proc | Periodo_Ti | SVs | PDOP | Dinámico |
|---------|--------------|-------------|-----|------|--------------------------|
| -60.968 | 0.001 | 00:47:00.00 | 9 | 1.5 | <input type="checkbox"/> |

Imagen 3.22

Libro de trabajo.tbl - PCZE LBZE - WGS 84 - Metros

| | Referencia | Remoto | Hora_Inicial | Aj_QA | Prueba | Aj_Long | Residual_Longitu | Aj_DX | Residual_DX | Aj_DY | Residual_DY | Aj_DZ | Residual_DZ |
|---|------------|--------|-----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------|------------------|---------|-------------|---------|-------------|---------|-------------|
| 1 | PCZE | LBZE | 17 octubre 2012 10:56:15.00 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 179.964 | 0.000 | 167.772 | 0.000 | -22.860 | 0.000 | -60.968 | 0.000 |

Archivos \ Puntos \ Posiciones de control \ Vectores \ Vectores de repetición \ Convergencia de bucle \ Vínculo de control \ Análisis de ajuste /

Imagen 3.23

Las alturas ortométricas de los puntos calculados son:

| Punto | Altura elipsoidal | Altura ortométrica |
|-------|-------------------|--------------------|
| PCZE | 2,684.951 | 2,690.69 |
| PCLB | 2,661.244 | 2,666.96 |

Ahora se calcularán las coordenadas ortogonales de la línea base PCZE-LBZE a partir de las coordenadas geodésicas con las mismas fórmulas utilizadas para el caso A.

Datos:

Elipsoide de referencia: GRS80.

Semieje mayor (a)= 6, 378, 137.000m

Semieje menor (b)= 6, 356, 752.314m

Excentricidad (e)= 0.081819191

Punto origen de coordenadas: PCZE

Este (E)= 527,768.799m

Norte (N)= 2, 228,369.576m

Las coordenadas ortogonales del punto LBZE y el azimut de la línea PCZE-LBZE, calculadas a partir del origen de coordenadas PCZE, en el marco ITRF08 son:

| Punto | x | y |
|-------|--------------|----------------|
| PCZE | 527, 768.799 | 2, 228,369.576 |
| LBZE | 527, 938.097 | 2, 228,313.333 |

| | |
|-------------------------|-----------------------|
| Azimut PCRC-LBRC | 108° 22' 37.5" |
|-------------------------|-----------------------|

Con las coordenadas ortogonales fue posible determinar la ortogonalidad de la imagen de satélite para nuestra área de estudio. Como habíamos mencionado anteriormente, además de la identificación del inmueble, los habitantes del lugar impidieron los trabajos para determinar las áreas asentadas dentro del inmueble, por lo tanto se decidió trabajar directamente sobre la imagen.

En la imagen 3.24 observamos que el punto PCZE en ortogonales (círculo magenta) está desplazado de la mojonera que se construyó en campo (círculo rojo), identificada en la imagen mediante referencias tomadas directamente en campo. Por lo tanto, mediante el programa Autocad Raster Desing se desplazó la imagen para obtener una mejor georeferencia.

Igual que el caso A, rotamos desde PCZE la diferencia angular entre el azimut de la línea base en coordenadas ortogonales y el azimut de la línea base en coordenadas UTM.

$$Az_{Orto} - Az_{UTM} = 108^{\circ} 22' 37.5'' - 108^{\circ} 17' 7.9'' = 0^{\circ} 05' 29.6''$$

Por lo tanto, mediante AutoCAD Raster Desing, rotamos la imagen $0^{\circ} 05' 29.6''$. Habiendo desplazado y rotado la imagen, quedó ortogonal respecto a la línea base levantada.

En la imagen 3.25 se observa la diferencia angular entre la línea base en coordenadas UTM (rojo) y la línea base en coordenadas ortogonales (azul).

En la escritura de venta de este inmueble, no se contó con plano ni datos para el trazo en campo o dibujo del polígono, por lo tanto se identificaron los linderos que dicta la escritura registrándolos con un navegador GPS, para su posterior dibujo en la imagen ortorectificada, tratando de llegar al área que indica la escritura, $18, 823 \text{ m}^2$, quedando el polígono como se muestra en la imagen 3.26, con una superficie de $18, 974.168 \text{ m}^2$.

Sobre ese polígono podemos trabajar para calcular las áreas de los asentamientos ubicados dentro del polígono, evitando problemas con los habitantes del lugar.

En el anexo C, se muestra el plano con el polígono identificado y su cuadro de construcción, y los polígonos de invasión con sus superficies, dibujados y calculados directamente de la imagen ortogonal, en AutoCAD Civil 3D.

Con esto se cumple el objetivo de identificación de un inmueble rustico y el cálculo de las superficies asentadas dentro de él.



Imagen 3.24



Imagen 3.25



Imagen 3.26

Cap. 4. Análisis y exposición de resultados

4.1 Caso A: Rancho de “Calabazas”

La ubicación del inmueble Rancho de “Calabazas” es confiable; de antemano sabíamos que aunque en la escritura contábamos con rumbos, distancias y colindancias identificables en campo, si no existía un punto de partida asentado en la escritura e identificable en campo, sería imposible conocer la ubicación referida en la escritura. Por tal motivo, lo más conveniente fue trazar los polígonos mediante la metodología descrita en el capítulo 3. Un levantamiento topográfico directo, por ejemplo, con teodolito, para el trazo del inmueble hubiera sido poco práctico y hubiera requerido de más tiempo y recursos, y sobre todo la imprecisión de trazar sin una mojonera que identifique el punto de partida del inmueble. El posicionamiento de la línea base y el análisis espacial realizado en campo y gabinete poseen un fundamento técnico y teórico muy riguroso.

El posicionamiento de la línea base dentro del área de estudio fue fundamental para determinar la ortogonalidad de la imagen de satélite. Después de procesar y ajustar los datos GPS, obtuvimos una elipse error de 0.049m, lo cual es aceptable si consideramos que ligamos el levantamiento directamente a la RGNA y trabajamos con receptores GPS geodésicos, lo cual es más preciso.

El uso de una imagen de satélite de alta resolución es de gran utilidad para la identificación y medición de inmuebles, reduce tiempo y costos. Aunque la resolución de la imagen sea de 0.5m y esté ortorrectificada, las condiciones del terreno o de la toma generan un rango de error que puede llegar hasta los 5 metros; por tal motivo, con las coordenadas de la línea base y el software de procesamiento, mejoramos la georeferencia de la imagen, permitiendo trazar los polígonos del inmueble y generar los cuadros de construcción en coordenadas ortogonales.

Otro aspecto importante de la línea base fue que se cuenta con un origen de coordenadas ligado directamente al marco de referencia oficial en México, ITRF08 época 2010, haciendo posible su representación en una proyección cartográfica. Con estas coordenadas, el azimut y la distancia determinadas, se pueden partir levantamientos topográficos posteriores, ya sea con topografía convencional o topografía GPS, permitiendo, por ejemplo, replantear los puntos obtenidos del polígono del inmueble, para materializarlos en el terreno.

El plano obtenido será de mucha utilidad para ubicar las construcciones dentro del inmueble; conocer la superficie recuperable y la superficie invadida; conocer coordenadas, rumbos y distancias, para cercar el inmueble y protegerlo de futuras invasiones. Posteriormente, siendo un proceso más largo, también se utilizará este plano para convenir linderos con los colindantes mediante un procedimiento jurídico y así fijar en base a la ley el inmueble.

4.2 Caso B: Terreno Cerca de Santa Anna

Este caso fue más complicado que el anterior; no contábamos con datos en la escritura para el dibujo o el trazo del inmueble, solo conocíamos la superficie total. Sin embargo, mediante el trabajo de campo se identificaron los colindantes y las características físicas que delimitaban el inmueble, para posteriormente dibujar el polígono en AutoCAD ajustándolo al área indicada en la escritura. Es lógico pensar que el inmueble dibujado no es el buscado, es muy difícil encontrar colindancias marcadas hace 90 años y personas que las ubiquen. Pero es seguro que nuestro polígono se acerca mucho al buscado, porque la forma del inmueble coincide con la forma del terreno (como se aprecia en el plano B), y la superficie buscada era de 18, 823 m², llegando a 18, 974 m² en el polígono levantado.

El levantamiento de línea base dentro del inmueble se ligó a un punto de la Subred Geodésica Minera, que a su vez es una densificación de la Red Geodésica Nacional Activa del INEGI; se realizó la transformación de coordenadas de ITRF92 a ITRF08, resultando un origen de coordenadas en el marco oficial para México, a través del cual se derivaron las coordenadas ortogonales del extremo de la línea base, el acimut y la distancia topográfica, haciendo posible su representación en una proyección cartográfica.

Para este levantamiento se trabajó con un GPS topográfico, obteniendo una precisión en el postproceso de 0.020m para los puntos levantados, la cual fue excelente.

Con las coordenadas ortogonales de la línea base fue posible obtener una mejor georeferencia de la imagen; determinar la ortogonalidad de la imagen; generar el cuadro de construcción del inmueble en coordenadas ortogonales; y contar en el terreno con una línea base precisa de partida para levantamientos topográficos posteriores, y así por ejemplo, replantear los puntos del polígono del inmueble obtenido para su materialización en campo.

El levantamiento del inmueble y el cálculo de las superficies asentadas dentro de él, fue más conveniente realizarlo mediante análisis espacial debido a que: el terreno era abrupto, la gente del lugar no permitió que se midieran sus casas, por seguridad, reducción de tiempo y costos.

Las superficies, dibujadas y calculadas en AutoCAD Civil 3D, nos generan cierta imprecisión; aunque la imagen sea de 0.5m de resolución, la calidad de la toma no permite apreciar a gran detalle las construcciones. Pero para que se pueda comenzar un proceso jurídico para la recuperación del inmueble, la medición aproximada de las mencionadas construcciones, es confiable debido al riguroso proceso técnico y teórico efectuado.

El plano obtenido servirá para conocer las superficies asentadas dentro del inmueble; conocer coordenadas, rumbos y distancias, para cercar el inmueble y protegerlo de futuras invasiones. Posteriormente, se utilizará este plano para convenir linderos con los colindantes mediante un procedimiento jurídico y así fijar, en base a la ley, mojoneras que delimiten el inmueble.

Cap. 5. Conclusiones

La identificación de inmuebles rústicos es una tarea complicada porque en algunos casos no se cuenta con datos topográficos que nos ayuden a identificar y trazar un inmueble; las características físicas del terreno se modifican impresionantemente con el tiempo y las personas asentadas irregularmente defienden sus terrenos, impidiendo los trabajos de topografía.

Con el desarrollo científico y tecnológico de la Geomática, contamos con imágenes satelitales de alta resolución, equipo GPS para obtener coordenadas con precisión centimétrica y software de procesamiento, cálculo y dibujo avanzado.

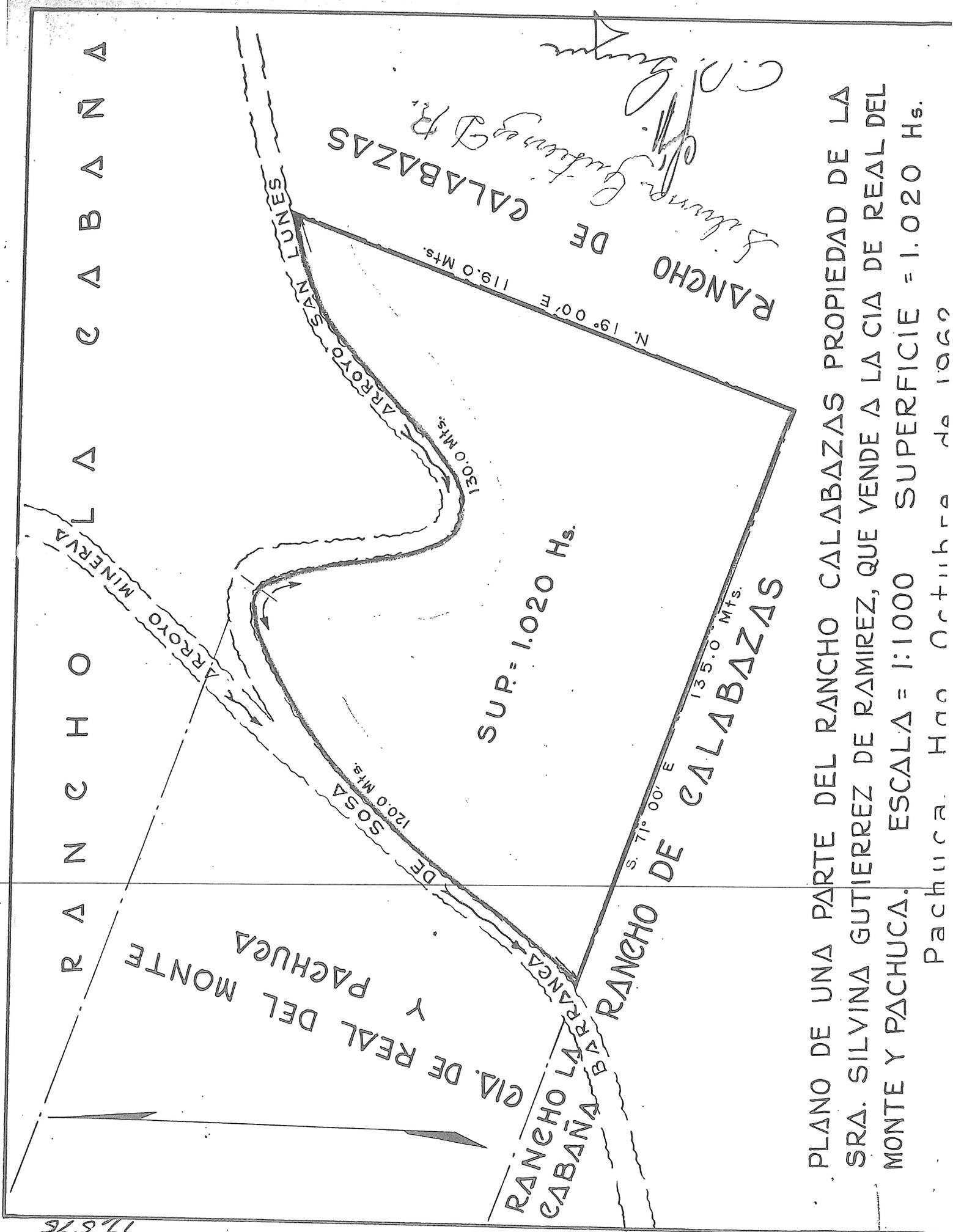
Hemos presentado las herramientas, metodología y teoría bien definida, para solucionar de manera rápida y confiable la identificación y levantamiento de inmuebles rústicos.

Se ha propuesto una conjunción de prácticas: levantamientos con GPS, análisis de datos, transformación de coordenadas, percepción remota y análisis espacial, para determinar la ortogonalidad de una imagen de satélite en las áreas de estudio; lo cual nos permite obtener coordenadas, ángulos y distancias ortogonales para generar planos topográficos que cumplen con los objetivos planteados en esta tesis.

A N E X O S

A N E X O A

17,576



PLANO DE UNA PARTE DEL RANCHO CALABAZAS PROPIEDAD DE LA SRA. SILVINA GUTIERREZ DE RAMIREZ, QUE VENDE A LA CIA DE REAL DEL MONTE Y PACHUCA. ESCALA = 1:1000 SUPERFICIE = 1.020 Hs.

Pachuca. Ha. Octubre de 1960

A N E X O B



CUADRO DE CONSTRUCCIÓN ESCRITURAS

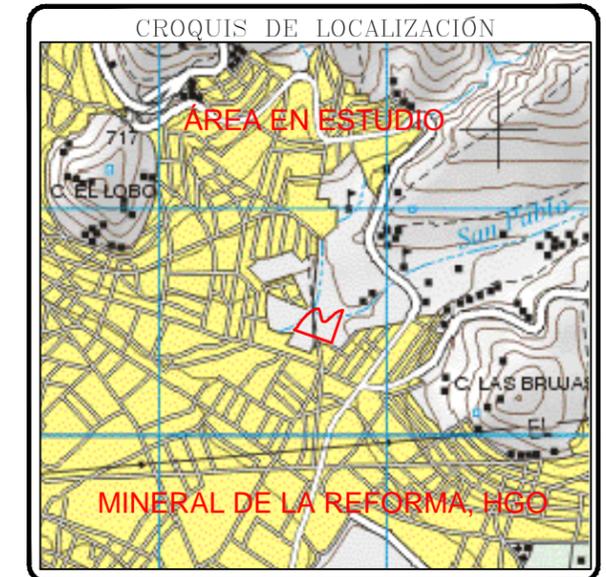
| EST. | P.V. | DISTANCIA | RUMBO | V | COORDENADAS | |
|------|------|-----------|---------------|----|-------------|-------------|
| | | | | | X | Y |
| 1 | 2 | 135.000 | N 71°00'00" W | 2 | 529610.458 | 2224462.620 |
| 2 | 3 | 61.505 | N 38°16'02" E | 3 | 529648.549 | 2224510.910 |
| 3 | 4 | 20.404 | N 49°14'35" E | 4 | 529664.005 | 2224524.230 |
| 4 | 5 | 16.011 | N 58°10'27" E | 5 | 529677.608 | 2224532.673 |
| 5 | 6 | 7.805 | N 67°45'43" E | 6 | 529684.833 | 2224535.627 |
| 6 | 7 | 7.528 | N 83°49'14" E | 7 | 529692.317 | 2224536.437 |
| 7 | 8 | 3.886 | S 48°33'40" E | 8 | 529695.230 | 2224533.865 |
| 8 | 9 | 7.768 | S 20°08'40" E | 9 | 529697.905 | 2224526.572 |
| 9 | 10 | 26.460 | S 11°45'43" E | 10 | 529703.299 | 2224500.668 |
| 10 | 11 | 6.727 | S 23°50'11" E | 11 | 529706.018 | 2224494.515 |
| 11 | 12 | 5.497 | S 56°15'28" E | 12 | 529710.588 | 2224491.462 |
| 12 | 13 | 5.972 | S 87°44'33" E | 13 | 529716.556 | 2224491.227 |
| 13 | 14 | 8.156 | N 60°07'46" E | 14 | 529723.629 | 2224495.289 |
| 14 | 15 | 41.788 | N 47°55'42" E | 15 | 529754.648 | 2224523.289 |
| 15 | 16 | 6.143 | N 62°15'28" E | 16 | 529760.085 | 2224526.149 |
| 16 | 17 | 17.501 | N 73°16'31" E | 17 | 529776.845 | 2224531.185 |
| 17 | 1 | 119.000 | S 19°00'00" W | 1 | 529738.103 | 2224418.668 |

SUPERFICIE = 1.020 Ha.

CUADRO DE CONSTRUCCIÓN LEVANTADO

| EST. | P.V. | DISTANCIA | RUMBO | V | COORDENADAS | |
|------|------|-----------|---------------|----|-------------|-------------|
| | | | | | X | Y |
| 1 | 2 | 18.693 | N 71°00'00" W | 2 | 529720.428 | 2224424.754 |
| 2 | 3 | 18.614 | N 80°27'31" E | 3 | 529738.785 | 2224427.840 |
| 3 | 4 | 17.857 | N 12°14'22" W | 4 | 529734.999 | 2224445.290 |
| 4 | 5 | 31.148 | S 80°22'39" W | 5 | 529704.289 | 2224440.084 |
| 5 | 6 | 10.399 | S 08°18'41" E | 6 | 529705.792 | 2224429.793 |
| 6 | 7 | 100.828 | N 71°00'00" W | 7 | 529610.458 | 2224462.620 |
| 7 | 8 | 61.505 | N 38°16'02" E | 8 | 529648.549 | 2224510.910 |
| 8 | 9 | 20.404 | N 49°14'35" E | 9 | 529664.005 | 2224524.230 |
| 9 | 10 | 16.011 | N 58°10'27" E | 10 | 529677.608 | 2224532.673 |
| 10 | 11 | 7.805 | N 67°45'43" E | 11 | 529684.833 | 2224535.627 |
| 11 | 12 | 7.528 | N 83°49'14" E | 12 | 529692.317 | 2224536.437 |
| 12 | 13 | 3.886 | S 48°33'40" E | 13 | 529695.230 | 2224533.865 |
| 13 | 14 | 7.768 | S 20°08'40" E | 14 | 529697.905 | 2224526.572 |
| 14 | 15 | 26.460 | S 11°45'43" E | 15 | 529703.299 | 2224500.668 |
| 15 | 16 | 6.727 | S 23°50'11" E | 16 | 529706.018 | 2224494.515 |
| 16 | 17 | 5.497 | S 56°15'28" E | 17 | 529710.588 | 2224491.462 |
| 17 | 18 | 5.972 | S 87°44'33" E | 18 | 529716.556 | 2224491.227 |
| 18 | 19 | 8.156 | N 60°07'46" E | 19 | 529723.629 | 2224495.289 |
| 19 | 20 | 41.788 | N 47°55'42" E | 20 | 529754.648 | 2224523.289 |
| 20 | 21 | 6.143 | N 62°15'28" E | 21 | 529760.085 | 2224526.149 |
| 21 | 22 | 17.501 | N 73°16'31" E | 22 | 529776.845 | 2224531.185 |
| 22 | 23 | 32.436 | S 19°00'00" W | 23 | 529766.285 | 2224500.516 |
| 23 | 24 | 5.346 | S 57°15'26" W | 24 | 529761.789 | 2224497.624 |
| 24 | 25 | 2.117 | N 32°21'53" W | 25 | 529760.656 | 2224499.412 |
| 25 | 26 | 8.249 | S 50°46'26" W | 26 | 529754.266 | 2224494.196 |
| 26 | 27 | 7.922 | S 39°44'15" E | 27 | 529759.330 | 2224488.104 |
| 27 | 28 | 19.952 | S 50°46'55" W | 28 | 529743.873 | 2224475.488 |
| 28 | 29 | 6.560 | N 40°21'07" W | 29 | 529739.625 | 2224480.488 |
| 29 | 30 | 13.377 | S 49°01'23" W | 30 | 529729.526 | 2224471.716 |
| 30 | 31 | 2.078 | N 39°29'29" W | 31 | 529728.205 | 2224473.319 |
| 31 | 32 | 6.327 | S 53°09'24" W | 32 | 529723.141 | 2224469.525 |
| 32 | 33 | 9.739 | S 40°41'12" E | 33 | 529729.490 | 2224462.140 |
| 33 | 34 | 1.953 | S 52°08'27" W | 34 | 529727.948 | 2224460.942 |
| 34 | 35 | 16.014 | S 37°50'29" E | 35 | 529737.772 | 2224448.295 |
| 35 | 36 | 18.817 | N 50°57'10" E | 36 | 529752.386 | 2224460.149 |
| 36 | 1 | 43.871 | S 19°00'00" W | 1 | 529738.103 | 2224418.668 |

SUPERFICIE = 0.8958 Ha.



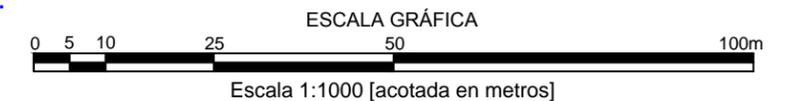
SIMBOLOGÍA

| | |
|----------------------------|--|
| INMUEBLE 121-3, LEVANTADO | |
| INMUEBLE 121-3, ESCRITURAS | |
| PUNTO DE CONTROL | |
| LÍNEA BASE | |

ORIGEN DE COORDENADAS

Plano topográfico referido al punto de control PCRC, con coordenadas UTM referidas al marco ITRF 08 época 2010, cuyos valores son:

E= 529,700.253m N= 2,224,419.799m



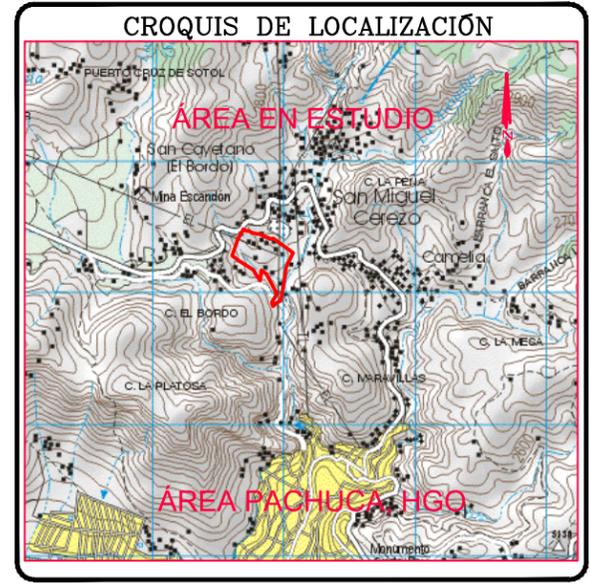
| | |
|--|-------------------|
| Plano topográfico del inmueble denominado Fracción de Rancho Calabazas; ubicado en Rancho Calabazas, mpio. Mineral de la Reforma, Hgo. | |
| ELABORÓ: Ricardo Rosas Álvarez | ESCALA: 1:1000 |
| FECHA: 14/4/2013 | PLANO: 1/1 |

A N E X O C



POLIGONOS DE INVASIÓN

| | |
|----|------------------------|
| 1 | 29.446 m ² |
| 2 | 29.203 m ² |
| 3 | 97.854 m ² |
| 4 | 28.398 m ² |
| 5 | 99.544 m ² |
| 6 | 54.665 m ² |
| 7 | 70.291 m ² |
| 8 | 87.633 m ² |
| 9 | 134.773 m ² |
| 10 | 21.750 m ² |
| 11 | 546.523 m ² |
| 12 | 84.121 m ² |



CUADRO DE CONSTRUCCION INMUEBLE 92-20

| EST. | P.V. | DISTANCIA | RUMBO | V | COORDENADAS | |
|------|------|-----------|---------------|----|-------------|-------------|
| | | | | | X | Y |
| 1 | 2 | 10.511 | S 65°19'59" E | 2 | 527764.899 | 2228483.727 |
| 2 | 3 | 5.943 | S 87°30'42" E | 3 | 527770.837 | 2228483.469 |
| 3 | 4 | 11.544 | S 63°26'44" E | 4 | 527781.163 | 2228478.309 |
| 4 | 5 | 14.972 | S 75°03'10" E | 5 | 527795.628 | 2228474.447 |
| 5 | 6 | 8.283 | N 86°28'49" E | 6 | 527803.896 | 2228474.955 |
| 6 | 7 | 7.348 | S 66°33'02" E | 7 | 527810.637 | 2228472.031 |
| 7 | 8 | 6.484 | S 48°11'34" E | 8 | 527815.470 | 2228467.709 |
| 8 | 9 | 15.512 | S 72°38'35" E | 9 | 527830.276 | 2228463.081 |
| 9 | 10 | 6.927 | S 49°46'36" E | 10 | 527835.565 | 2228458.608 |
| 10 | 11 | 9.735 | N 79°09'52" E | 11 | 527845.126 | 2228460.438 |
| 11 | 12 | 74.029 | S 54°29'10" E | 12 | 527905.384 | 2228417.434 |
| 12 | 13 | 47.592 | S 26°23'28" W | 13 | 527884.229 | 2228374.803 |
| 13 | 14 | 58.015 | S 08°33'16" W | 14 | 527875.600 | 2228317.433 |
| 14 | 15 | 45.097 | S 10°46'59" W | 15 | 527867.163 | 2228273.132 |
| 15 | 16 | 14.318 | S 63°15'14" W | 16 | 527854.376 | 2228266.688 |
| 16 | 17 | 14.089 | S 44°15'22" W | 17 | 527844.544 | 2228256.597 |
| 17 | 18 | 12.410 | N 16°04'35" W | 18 | 527841.107 | 2228268.521 |
| 18 | 19 | 29.421 | N 30°16'36" E | 19 | 527855.941 | 2228293.929 |
| 19 | 20 | 67.347 | N 27°32'43" W | 20 | 527824.796 | 2228353.642 |
| 20 | 21 | 19.263 | N 53°14'28" W | 21 | 527809.363 | 2228365.170 |
| 21 | 22 | 30.997 | S 07°26'24" W | 22 | 527805.349 | 2228334.434 |
| 22 | 23 | 27.424 | N 32°50'52" W | 23 | 527790.474 | 2228357.473 |
| 23 | 24 | 9.846 | N 30°41'27" W | 24 | 527785.449 | 2228365.940 |
| 24 | 25 | 55.824 | N 57°25'54" W | 25 | 527738.403 | 2228395.990 |
| 25 | 26 | 21.919 | N 50°45'25" W | 26 | 527721.428 | 2228409.856 |
| 26 | 27 | 27.556 | N 18°31'34" E | 27 | 527730.183 | 2228435.985 |
| 27 | 28 | 22.468 | N 19°17'50" E | 28 | 527737.608 | 2228457.190 |
| 28 | 29 | 21.930 | N 27°22'59" E | 29 | 527747.694 | 2228476.663 |
| 29 | 1 | 13.773 | N 33°45'22" E | 1 | 527755.347 | 2228488.114 |

SUPERFICIE = 18,974.168 m².

SIMBOLOGÍA

INMUEBLE 92-20 

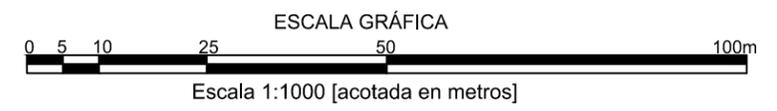
SUPERFICIE INVASIDA 

PUNTO DE CONTROL 

ORIGEN DE COORDENADAS

Plano topográfico referido al punto de control TAN1, con coordenadas UTM referidas al marco ITRF 08 época 2010, cuyos valores son:

N=2,228,377.190m E=527,779.263m



Plano topográfico del inmueble denominado Terreno Cerca de Santa Ana, ubicado en el pueblo del Cerezo, mpio, Pachuca de Soto, Hgo.

| | |
|-----------------------------------|-------------------|
| ELABORÓ: Ricardo Rosas Álvarez | ESCALA: 1:1000 |
| FECHA: 14/04/2013 | PLANO: 1/1 |

A N E X O D

Vista de levantamiento

GNSS Solutions, Copyright © 2007 Magellan Navigation, Inc. 26/03/2013 05:36:27 p.m.
www.pro.magellanGPS.com

Nombre del proyecto: PCRC-LBRC
Sistema de referencia espacial: WGS 84
Zona horaria: (UTC-06:00) Guadalajara, Ciudad de México, Monterrey
Unidades lineales: Metros

Resumen del sistema de coordenadas

Sistema de coordenadas

Nombre: WGS 84
Tipo: Geográfico
Nombre de la unidad: Radianes
Radianes por unidad: 1
Datum vertical: Elipsoide
Unidad vertical : Metros
Metros por unidad: 1

Datum

Nombre: WGS 84
Nombre del elipsoide: WGS 84
Semieje mayor: 6378137.000 m
Inversa aplastamiento: 298.257223563
DX a WGS84: 0.0000 m
DY a WGS84: 0.0000 m
DZ a WGS84: 0.0000 m
RX a WGS84: -0.000000 "
RY a WGS84: -0.000000 "
RZ a WGS84: -0.000000 "
ppm a WGS84: 0.000000000000

Puntos de control: 2
Puntos de referencia: 0
Puntos registrados: 2
Puntos objetivo: 0
Puntos intermedios: 0

Puntos de control

| <u>Nombre</u> | <u>Componentes</u> | <u>95% Error</u> | <u>Estado</u> | <u>Error de</u> |
|----------------|--------------------------|------------------|---------------|-----------------|
| <u>control</u> | | | | |
| ICEP | Long. 98° 11' 15.35143"W | 0.000 | FIJO | |
| | Lat. 19° 01' 58.88475"N | 0.000 | FIJO | |
| | Altura elipse 2150.327 | 0.000 | FIJO | |

| | | | | |
|------|---------------|--------------------|-------|------|
| TOL2 | Long. | 99° 38' 36.50048"W | 0.000 | FIJO |
| | Lat. | 19° 17' 35.64347"N | 0.000 | FIJO |
| | Altura elipse | 2651.730 | 0.000 | FIJO |

Puntos registrados

| Nombre | Componentes | | | 95% Error | Estado |
|--------|---------------|--------------------|--|-----------|----------|
| LBRC | Long. | 98° 42' 58.33524"W | | 0.083 | Ajustado |
| | Lat. | 20° 07' 06.57382"N | | 0.080 | Ajustado |
| | Altura elipse | 2410.288 | | 0.076 | Ajustado |
| PCRC | Long. | 98° 42' 57.11012"W | | 0.096 | Ajustado |
| | Lat. | 20° 07' 00.08926"N | | 0.093 | Ajustado |
| | Altura elipse | 2414.299 | | 0.075 | Ajustado |

Archivos

| Nombre | Hora inicial | Muestreo | Generaciones | Tamaño (KB) | Tipo |
|--------------|----------------|----------|--------------|-------------|-----------|
| BICEP013.021 | 13/01/21 11:00 | 15 | 1680 | 1557 | L1/L2 GPS |
| BLBRCD13.021 | 13/01/21 16:34 | 15 | 184 | 160 | L1/L2 GPS |
| BPCRCC13.021 | 13/01/21 15:32 | 15 | 181 | 148 | L1/L2 GPS |
| BTOL2013.021 | 13/01/21 11:00 | 15 | 1680 | 1116 | L1/L2 GPS |

Ocupaciones

| Emplazamiento | Hora inicial | Periodo de tiempo | Tipo |
|---------------|---------------------------|-------------------|--------|
| ICEP | 21 enero 2013 11:00:00.00 | 06:59:45.00 | Static |
| LBRC | 21 enero 2013 16:34:15.00 | 00:45:15.00 | Static |
| PCRC | 21 enero 2013 15:32:30.00 | 00:45:00.00 | Static |
| TOL2 | 21 enero 2013 11:00:00.00 | 06:59:45.00 | Static |

Procesos

| Referencia | Archivo de referencia | Remoto | Archivo del receptor remoto | Modo |
|------------|-----------------------|--------|-----------------------------|------------|
| ICEP | BICEP013.021 | PCRC | BPCRCC13.021 | Estático 1 |
| ICEP | BICEP013.021 | LBRC | BLBRCD13.021 | Estático 2 |
| ICEP | BICEP013.021 | TOL2 | BTOL2013.021 | Estático 3 |
| TOL2 | BTOL2013.021 | PCRC | BPCRCC13.021 | Estático 4 |
| TOL2 | BTOL2013.021 | LBRC | BLBRCD13.021 | Estático 5 |

Vectores procesados

| Identificador de vector | Vector Longitud | 95% Error | Componentes | Vector | 95% Error | SV | PDOP | QA | Solución |
|-------------------------------|-----------------|-----------|-------------|-------------|-----------|----|------|----|----------|
| ICEP - TOL2 13/01/21 07:30 | 155882.212 | 0.754 | X | -149951.822 | 0.306 | 10 | 1.4 | No | Fijo |
| | | | Y | 32617.611 | | | | | |
| | | | Z | 27382.597 | | | | | |
| ICEP - LBRC 13/01/21 16:11 | 132388.229 | 0.642 | X | -48994.986 | 0.260 | 9 | 1.8 | No | Fijo |
| | | | Y | 47748.408 | | | | | |

| | | | | | | | | | | |
|----------------|------------|-------|---|------------|------------|-------|-----|----|-------|--|
| | | | | Z | 113341.184 | 0.260 | | | | |
| ICEP - PCRC | 132192.374 | 0.792 | X | -48970.834 | 0.322 | 9 | 1.8 | No | Móvil | |
| 13/01/21 15:10 | | | Y | 47671.532 | 0.323 | | | | | |
| | | | Z | 113155.231 | 0.318 | | | | | |
| TOL2 - LBRC | 133454.358 | 0.793 | X | 100956.675 | 0.322 | 10 | 1.6 | No | Móvil | |
| 13/01/21 16:11 | | | Y | 15130.858 | 0.323 | | | | | |
| | | | Z | 85958.553 | 0.320 | | | | | |
| TOL2 - PCRC | 133344.374 | 0.797 | X | 100980.991 | 0.324 | 9 | 1.8 | No | Móvil | |
| 13/01/21 15:10 | | | Y | 15053.842 | 0.325 | | | | | |
| | | | Z | 85772.625 | 0.320 | | | | | |

Vectores ajustados

| Identificador de vector | Vector Longitud | | | Vector | | | Tau | |
|-------------------------|-----------------|--------|---|-------------|--------|--------|-----|--|
| | Longitud | Resid. | | Componentes | Resid. | Prueba | QA | |
| ICEP - TOL2 | 155882.166 | 0.049 | X | -149951.773 | 0.049 | | | |
| 13/01/21 07:30 | | | Y | 32617.613 | 0.002 | | | |
| | | | Z | 27382.602 | 0.005 | | | |
| ICEP - LBRC | 132388.237 | 0.052 | X | -48995.028 | -0.042 | | | |
| 13/01/21 16:11 | | | Y | 47748.432 | 0.024 | | | |
| | | | Z | 113341.165 | -0.019 | | | |
| ICEP - PCRC | 132192.349 | 0.046 | X | -48970.808 | 0.026 | | | |
| 13/01/21 15:10 | | | Y | 47671.494 | -0.038 | | | |
| | | | Z | 113155.229 | -0.002 | | | |
| TOL2 - LBRC | 133454.414 | 0.081 | X | 100956.745 | 0.070 | | | |
| 13/01/21 16:11 | | | Y | 15130.819 | -0.039 | | | |
| | | | Z | 85958.563 | 0.011 | | | |
| TOL2 - PCRC | 133344.360 | 0.047 | X | 100980.965 | -0.026 | | | |
| 13/01/21 15:10 | | | Y | 15053.880 | 0.039 | | | |
| | | | Z | 85772.627 | 0.002 | | | |

A N E X O E

Vista de levantamiento

GNSS Solutions, Copyright (C) 2005 Thales Navigation, 07/04/2013 04:23:04 p.m.
www.thalesnavigation.com

Nombre del proyecto: Zerezo 5137-PCZE
Sistema de referencia espacial: WGS 84~1
Zona horaria: (UTC-06:00) Guadalajara, Ciudad de México, Monterrey
Unidades lineales: Metros

Resumen del sistema de coordenadas

Sistema de coordenadas

Nombre: WGS 84~1
Tipo: Geográfico
Nombre de la unidad: Radianes
Radianes por unidad: 1
Datum vertical: Elipsoide
Unidad vertical : Metros
Metros por unidad: 1

Datum

Nombre: WGS 84
Nombre del elipsoide: WGS 84
Semieje mayor: 6378137.000 m
Inversa aplastamiento: 298.257223563
DX a WGS84: 0.0000 m
DY a WGS84: 0.0000 m
DZ a WGS84: 0.0000 m
RX a WGS84: -0.000000 "
RY a WGS84: -0.000000 "
RZ a WGS84: -0.000000 "
ppm a WGS84: 0.000000000000

Puntos de control: 1
Puntos de referencia: 0
Puntos registrados: 1
Puntos objetivo: 0
Puntos intermedios: 0

Puntos de control

| Nombre | Componentes | 95% Error | Estado | Error de |
|-----------------|---|-------------------------|----------------------|----------|
| control 5137 | Long. 98° 41' 34.58879"W Lat. 20° 07' 19.10447"N Altura elipse 2627.737 | 0.000 0.000 0.000 | FIJO FIJO FIJO | |

Puntos registrados

| Nombre | Componentes | | | 95% Error | Estado |
|--------|---------------|---------|------------|--------------|----------|
| PCZE | Long. | 98° 44' | 03.41239"W | 0.002 | Ajustado |
| | Lat. | 20° 09' | 08.68404"N | 0.002 | Ajustado |
| | Altura elipse | | 2684.951 | 0.003 | Ajustado |

Archivos

| Nombre | Hora inicial | Muestreo | Generaciones | Tamaño (KB) | Tipo |
|--------------|----------------|----------|--------------|-------------|------|
| BGAN2A12.290 | 12/10/16 11:37 | 15 | 1695 | 734 | 12 |
| BGAN3A12.290 | 12/10/16 12:20 | 15 | 249 | 103 | 12 |

Observaciones

| Emplazamiento | Antena Tipo | Antena Altura | Receptor Tipo | Receptor Tipo | Hora inicial | Nombre de archivo |
|---------------|----------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| PCZE | NAP100 | 1.606 | En línea recta | PROMARK3 | 12/10/16 11:37:30 | BGAN2A12.290 |
| 5137 | NAP100 | 1.464 | En línea recta | PROMARK3 | 12/10/16 12:20:45 | BGAN3A12.290 |

Procesos

| NUM | Referencia | Archivo de referencia | Remoto | Archivo del receptor remoto | Modo |
|-----|------------|-----------------------|--------|-----------------------------|------------|
| | 5137 | BGAN3A12.290 | PCZE | BGAN2A12.290 | Estático 1 |

Vectores procesados

| Identificador de vector | Vector | | | Vector | | 95% | | | Solución |
|-------------------------------|----------|----------|-------|-------------|-----------|-------|------|-----|----------|
| | Longitud | Error | | Componentes | Error | SV | PDOP | QA | |
| 5137 - PCZE 12/10/16 12:20 | | 5483.265 | 0.027 | X | -4106.542 | 0.011 | 8 | 1.8 | Fijo |
| | | | | Y | 1749.186 | 0.011 | | | |
| | | | | Z | 3184.785 | 0.011 | | | |
| 5137 - PCZE 12/10/16 11:49 | | 5483.266 | 0.027 | X | -4106.542 | 0.011 | 8 | 1.8 | Fijo |
| | | | | Y | 1749.183 | 0.011 | | | |
| | | | | Z | 3184.788 | 0.011 | | | |

Vectores de repetición

| Vector de repetición | | Diferencia | Longitud | QA |
|----------------------|----------------|------------|----------|----|
| 5137 - PCZE | X | 0.000 | 5483.266 | |
| | 12/10/16 11:49 | Y | -0.003 | |
| | 12/10/16 12:20 | Z | 0.003 | |

Vectores ajustados

Vector Longitud Vector Tau

| Identificador de vector | Longitud | Resid. | | Componentes | Resid. | Prueba | QA |
|-------------------------|----------|--------|---|-------------|--------|--------|----|
| 5137 - PCZE | 5483.265 | 0.003 | X | -4106.542 | 0.000 | | |
| 12/10/16 12:20 | | | Y | 1749.184 | -0.002 | | |
| | | | Z | 3184.787 | 0.002 | | |
| 5137 - PCZE | 5483.265 | 0.002 | X | -4106.542 | -0.000 | | |
| 12/10/16 11:49 | | | Y | 1749.184 | 0.001 | | |
| | | | Z | 3184.787 | -0.001 | | |

A N E X O F

Vista de levantamiento

GNSS Solutions, Copyright (C) 2005 Thales Navigation, 07/04/2013 11:14:54 p.m.
www.thalesnavigation.com

Nombre del proyecto: PCZE LBZE
Sistema de referencia espacial: WGS 84
Zona horaria: (UTC-06:00) Guadalajara, Ciudad de México, Monterrey
Unidades lineales: Metros

Resumen del sistema de coordenadas

Sistema de coordenadas

Nombre: WGS 84
Tipo: Geográfico
Nombre de la unidad: Radianes
Radianes por unidad: 1
Datum vertical: Elipsoide
Unidad vertical : Metros
Metros por unidad: 1

Datum

Nombre: WGS 84
Nombre del elipsoide: WGS 84
Semieje mayor: 6378137.000 m
Inversa aplastamiento: 298.257223563
DX a WGS84: 0.0000 m
DY a WGS84: 0.0000 m
DZ a WGS84: 0.0000 m
RX a WGS84: -0.000000 "
RY a WGS84: -0.000000 "
RZ a WGS84: -0.000000 "
ppm a WGS84: 0.000000000000

Puntos de control: 1
Puntos de referencia: 0
Puntos registrados: 1
Puntos objetivo: 0
Puntos intermedios: 0

Puntos de control

| <u>Nombre</u> | <u>Componentes</u> | <u>95% Error</u> | <u>Estado</u> | <u>Error de</u> |
|----------------|-------------------------|------------------|---------------|-----------------|
| <u>control</u> | | | | |
| PCZE | Long 98° 44' 03.41239"W | 0.000 | FIJO | |
| | Lat 20° 09' 08.68404"N | 0.000 | FIJO | |
| | Altura 2684.951 | 0.000 | FIJO | |

Puntos registrados

| Nombre | Componentes | | | 95% Error | Estado |
|--------|-------------|----------|------------|--------------|----------|
| LBZE | Long | 98° 43' | 57.58514"W | 0.002 | Ajustado |
| | Lat | 20° 09' | 06.85585"N | 0.002 | Ajustado |
| | Altura | 2661.244 | | 0.002 | Ajustado |

Archivos

| Nombre | Hora inicial | Muestreo | Generaciones | Tamaño (KB) | Tipo |
|--------------|----------------|----------|--------------|-------------|--------|
| BGAN2B12.291 | 12/10/17 10:56 | 15 | 189 | 89 | L1 GPS |
| BGAN3A12.291 | 12/10/17 10:13 | 15 | 798 | 339 | L1 GPS |

Observaciones

| Emplazamiento | Antena Tipo | Antena Altura | Altura Receptor Tipo | Receptor Tipo | Hora inicial | Nombre de archivo |
|---------------|----------------|------------------|-------------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| LBZE | 110454 | 3.000 | En línea recta | PROMARK3 | 12/10/17 10:56:15 | BGAN2B12.291 |
| PCZE | 110454 | 1.546 | En línea recta | PROMARK3 | 12/10/17 10:13:45 | BGAN3A12.291 |

Procesos

| NUM | Referencia | Archivo de referencia | Remoto | Archivo del receptor remoto | Modo |
|-----|------------|-----------------------|--------|-----------------------------|------------|
| | PCZE | BGAN3A12.291 | LBZE | BGAN2B12.291 | Estático 1 |

Vectores procesados

| Identificador de vector | Vector Longitud | 95% Error | | Vector Componentes | 95% Error | SV | PDOP | QA | Solución |
|-------------------------|--------------------|--------------|---|-----------------------|--------------|----|------|----|----------|
| PCZE - LBZE | 179.964 | 0.002 | X | 167.772 | 0.001 | 9 | 1.5 | | Fijo |
| 12/10/17 10:56 | | | Y | -22.860 | 0.001 | | | | |
| | | | Z | -60.968 | 0.001 | | | | |

Vectores ajustados

| Identificador de vector | Vector Longitud | Longitud Resid. | | Vector Componentes | Resid. | Tau Prueba | QA |
|-------------------------|--------------------|--------------------|---|-----------------------|--------|---------------|----|
| PCZE - LBZE | 179.964 | 0.000 | X | 167.772 | 0.000 | | |
| 12/10/17 10:56 | | | Y | -22.860 | 0.000 | | |
| | | | Z | -60.968 | 0.000 | | |

BIBLIOGRAFÍA

Ávalos Naranjo, David. “El geode para el área mexicana y sus aplicaciones”. INEGI. 2002. <http://www.inegi.org.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/contenidos/articulos/geografica/geoid_e03.pdf> 24 mar. 2012.

Caire Lomelí, Jorge. *La proyección cartográfica para la República Mexicana*. México: UNAM, Dirección General de Publicaciones, 1986.

García Márquez, Fernando. *Curso básico de Topografía*. México: Pax México, 2003.

Global Positioning System. Jun. 2013. <http://en.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System>

GPS – explained. 2009. <<http://www.kowoma.de/en/gps/index.htm>>

GPS signals. Jun. 2013. <http://en.wikipedia.org/wiki/GPS_signals>

INEGI en internet. “Geodesia”. 2011. <<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geodesia/default.aspx>> 24 mar. 2012.

Krakiwsky, E. J., D. B. Thomson. *Cálculos de posicionamiento geodésico*. Trad. Rafael Sosa Torres. INEGI.

Krakiwsky, E. J., D. E. Wells. *Sistemas de coordenadas en geodesia*. Trad. Rafael Sosa Torres. México: 1978. INEGI.

Medina Peralta, Manuel. *Elementos de astronomía de posición*. México: Limusa, 1974.

Mitchel, Hugh C. “Definitions of Terms Used in Geodetic and Other Surveys”. 1948. <http://www.ngs.noaa.gov/CORS-Proxy/Glossary/xml/NGS_Glossary.xml> 21 mar. 2012.

Montes de Oca, Miguel. *Topografía*. México: UNAM, Facultad de Ingeniería, 1982.

NGS (National Geodetic Survey). Science & Education. <<http://www.ngs.noaa.gov/GEOID/>> 27 de diciembre de 2012.

Official U.S Government information about the Global Position System and related topics. “GPS overview”. 2012. <<http://www.gps.gov/systems/gps/>>

Van Sickle, Jan. *GPS for land surveyors*. Chelsea, Michigan: Ann Arbor, 2001.