

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**TÉCNICAS DE MEDICIÓN TOPOGRÁFICAS  
CON GPS DE DOBLE FRECUENCIA Y SU PROCESAMIENTO  
CON EL SOFTWARE CARLSON SURVEY GNSS**

PRESENTADO POR:

**DAVID SALVADOR FUNES RECINOS  
GERMAN JOSÉ MARTÍNEZ LOZANO  
ELMER GUILLERMO RIVERA ALVARENGA**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**INGENIERO CIVIL**

CIUDAD UNIVERSITARIA, OCTUBRE DE 2017

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR :

**MSc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO**

SECRETARIA GENERAL :

**LIC. CRISTOBAL HERNÁN RÍOS BENÍTEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

DECANO :

**ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL**

SECRETARIO :

**ING. JULIO ALBERTO PORTILLO**

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

DIRECTOR :

**ING. JORGE OSWALDO RIVERA FLORES**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO CIVIL**

Título :

**TÉCNICAS DE MEDICIÓN TOPOGRÁFICAS CON GPS DE DOBLE  
FRECUENCIA Y SU PROCESAMIENTO CON EL SOFTWARE CARLSON  
SURVEY GNSS**

Presentado por :

**DAVID SALVADOR FUNES RECINOS  
GERMAN JOSÉ MARTÍNEZ LOZANO  
ELMER GUILLERMO RIVERA ALVARENGA**

Trabajo de Graduación Aprobado por :

Docentes directores :

**ING. JORGE OSWALDO RIVERA FLORES**

**ING. WILFREDO AMAYA ZELAYA**

San Salvador, octubre de 2017

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores :

**ING. JORGE OSWALDO RIVERA FLORES**

**ING. WILFREDO AMAYA ZELAYA**

En memoria de:

**IVAN OBED PINEDA MARQUINA**

**Q.D.E.P.**

*“En el cielo ya disfrutan tu bondad y alegría, aquí en la Tierra te extrañamos mucho querido amigo.”*

## **AGRADECIMIENTOS**

Queremos agradecer a todas las personas que nos han brindado su apoyo y ayuda de una manera desinteresada para lograr culminar nuestro trabajo de graduación.

A nuestros asesores, Ing. Jorge Oswaldo Rivera Flores, por ayudarnos a seleccionar el tema de investigación y apoyarnos en todo el desarrollo de la misma. Al Ing. Wilfredo Amaya Zelaya, por proporcionarnos asesoría técnica, por el préstamo de equipo satelital, por las donaciones de diversos materiales, por su tiempo dedicado a esta investigación y su apoyo incondicional.

Al Ing. Mauricio Ernesto Valencia, jefe del Departamento de Construcción y Vías Terrestres, por siempre estar a la disposición de colaborar con el desarrollo del trabajo de graduación.

A nuestros amigos y familiares que contribuyeron directa o indirectamente para lograr finalizar esta tesis.

## **DEDICATORIA**

Esta tesis la dedico principalmente a Dios quién ha sabido guiarme por el buen camino, darme las fuerzas necesarias para seguir adelante y abordar los problemas que se presentaron, enseñándome a afrontar las adversidades sin perder nunca la fe.

A mis padres: Amelia Recinos y Emilio Funes, por su apoyo incondicional, sabios consejos, comprensión, amor y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Todo lo que soy se lo debo a ellos.

A mis hermanas Ana y Eva, mis hermanos Osmel y Alejandro por estar siempre presentes, acompañándome y aconsejándome en los momentos difíciles.

A mis compañeros y amigos Guillermo rivera y German Lozano por su apoyo incondicional, sin los cuales no podría estar en este punto de mi carrera.

A la Asociación de Reconstrucción y Desarrollo Municipal de Cinquera (ARDM) por su ayuda económica a lo largo de todo mi proceso de formación.

**David Salvador Funes Recinos.**

## DEDICATORIA

Dedico este gran logro primeramente a Dios, quien me ha dado la sabiduría y las fuerzas para lograr avanzar en cada etapa de mi vida y culminar con éxitos mi carrera universitaria. A la Virgen María por siempre cuidarme y bendecir a mi familia.

A mis padres; Ana Janeth Lozano y José Martínez, por su apoyo incondicional en mi formación académica, por inculcarme buenos valores y enseñarme el camino del bien, siendo un ejemplo claro de superación para mí y mis hermanos.

A mi hermana Concepción Lozano, por ser mi compañía y apoyo durante los años en la universidad, estando lejos de nuestro hogar. A mi hermano Ángel Lozano por ayudarme en diferentes situaciones a lo largo de este camino. A mis abuelos, tíos y demás familia por siempre motivarme a seguir adelante, dándome palabras de aliento y por siempre sentirse orgullosos de mí.

A mis amigos y compañeros que creyeron en mí, que estuvieron en los buenos y malos momentos, y no dudaron que lograría culminar mis estudios.

A mis compañeros de tesis y amigos, David Funes y Guillermo Rivera, por haber aceptado este reto y por cada uno de los momentos que hemos vivido en este trayecto por ser Ingenieros Civiles.

A cada uno de los docentes que aportaron en mi educación para llegar a ser un excelente profesional.

**German José Martínez Lozano.**



## DEDICATORIA

A Dios, por ser el guía espiritual de mi vida, por protegerme durante el largo camino recorrido, por brindarme sabiduría y ayudarme a levantarme en los momentos difíciles y por todas las bendiciones que derrama sobre mi cada día.

A mis padres, Guillermo Rivera Contreras y Ana Marina Alvarenga Barahona, por su apoyo incondicional, por todos sus consejos, por ser personas dignas de mi admiración y cuyo ejemplo ha sido fundamental en mi desarrollo personal, por confiar en mí y darme la oportunidad de realizarme profesionalmente.

A mis hermanos, Gladis Sofía Rivera Alvarenga y Víctor Manuel Rivera Alvarenga, por su apoyo y motivación para seguir adelante.

A mis abuelos, Pablo Dolores Alvarenga y Eva Bellini Barahona, por los consejos, el cariño y su fe en mí.

A mis compañeros de tesis, David Salvador Funes Recinos y German José Martínez Lozano, por su apoyo y compañía, y a todos mis amigos por todas las experiencias vividas durante mi carrera.

A todos los docentes que han contribuido en mi desarrollo personal y profesional transmitiéndome sus conocimientos y experiencias.

**Elmer Guillermo Rivera Alvarenga.**

## RESUMEN

El contenido de este trabajo de graduación consiste en definir diferentes conceptos sobre la geodesia, sistema de referencias geodésicos, sistema de posicionamiento global, porque son fundamentales para el desarrollo de la etapa principal, en la cual se elabora un Manual de Uso del equipo GPS Diferencial de Doble Frecuencia y el software de procesamiento de datos Carlson Survey GNSS aplicado a las técnicas de medición topográficas: Estática, Estática-Rápida y Cinemático en Tiempo Real (RTK).

En un principio se presentan las generalidades que incentivaron llevar a cabo esta investigación, definiendo los antecedentes de la temática; haciendo énfasis en la carencia de investigaciones de esta índole, seguidamente se plantea la problemática a resolver, las causas que la generan y los objetivos a desarrollar.

Posteriormente se inicia la etapa teórica que enmarca los fundamentos de la geodesia desde las primeras hipótesis sobre las formas de la Tierra desarrolladas por diferentes filósofos de distintas civilizaciones hasta concepciones modernas que estipulan superficies geométricas y equipotenciales, como Elipsoide y Geoide. También se establecen los conceptos referidos a los sistemas y marcos de referencias geodésicos y al origen de las coordenadas, es decir, lo referente a Datum horizontal y vertical.

En relación con las Coordenadas Geográficas y los Sistemas de Proyección Cartográficos, el punto de partida es la definición de los paralelos y meridianos,

que sirven de referencia para la ubicación geográfica de puntos sobre la superficie terrestre. Las coordenadas geográficas (Longitud y Latitud) se transforman en coordenadas planas (X, Y) mediante sistemas de proyección cartográficas, por ende, se presenta el principal sistema utilizado globalmente, el UTM, y el utilizado en el Salvador, Cónico Conforme de Lambert SIRGAS – ES2007.

Respecto a los Sistemas de Posicionamiento Global se desarrollan los principios y conceptos básicos de estos, haciendo énfasis en la evolución de los mismos, desde su origen totalmente militar, hasta su uso civil en la actualidad. Otros aspectos importantes son las señales y frecuencias GPS, los tipos de equipos receptores, parámetros de observación como ventana y máscara, precisiones, fuentes de error y las constelaciones Satelitales (GPS, GLONASS y GALILEO).

Posteriormente se describe la etapa de elaboración del manual de uso del equipo satelital y el software de procesamiento de datos, partiendo con los fundamentos teóricos de cada una de las técnicas, donde se presentan parámetros como tiempos de observación, precisiones, longitudes de líneas base y las aplicaciones de estas. Seguidamente se desarrolla un manual por cada técnica, iniciando desde la instalación del equipo GPS, configuración, toma de datos, hasta la exportación y procesamiento en el software. Con la elaboración del manual, se establecieron una serie de puntos geodésicos dentro de la Universidad de El Salvador, que servirán como referencia para futuros proyectos.

A continuación, se muestra un análisis comparativo, que se basa en el establecimiento de una poligonal cerrada con amarre geodésico denominada FIAUES, cuyas coordenadas se obtienen utilizando equipo GPS en técnica RTK y con estación total por el método de poligonación, obteniendo las desviaciones en las coordenadas de cada punto de la poligonal.

A continuación, se muestra un análisis comparativo, entre levantamientos utilizando equipo GPS en técnica RTK y con estación total por el método de poligonación, que se basa en el establecimiento de una poligonal cerrada con amarre geodésico denominada FIAUES. Posteriormente se determinan las desviaciones en las coordenadas de cada punto de la poligonal, que permiten cuantificar el análisis. Este parámetro numérico junto a otros criterios técnicos y funcionales permiten realizar un análisis completo para determinar las ventajas y desventajas de la utilización de estos equipos.

Se presentan las conclusiones y recomendaciones de esta investigación, y finalmente se encuentra la sección de anexos que contiene información utilizada en el desarrollo de este trabajo.

## ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I	
GENERALIDADES .....	1
1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	4
1.3 Objetivos .....	5
1.4 Alcances.....	6
1.5 Limitaciones .....	7
1.6 Justificaciones .....	8
CAPITULO II	
GEODESIA .....	10
2.1 Fundamentos de geodesia .....	10
2.2 Subdivisión de la geodesia.....	24
2.3 Conceptos de elipsoide, geoide y datum.....	29
2.4 Sistema y marco de referencia geodésico .....	38
2.4.1 Datum Horizontal.....	43
2.4.1.1 Datum NAD 27 .....	45
2.4.1.2 Datum WGS- 1984/ITRF/SIRGAS.....	47
2.4.2 Datum vertical .....	58
2.4.2.1 Modelo Geoidal Mundial EGM-96 y EGM-2008 .....	59
2.4.2.2 Modelo Geoidal Local.....	64
CAPITULO III	
COORDENADAS GEOGRAFICAS Y SISTEMAS DE PROYECCIÓN .....	68
3.1 Paralelos y meridianos .....	68
3.2 Proyecciones cartográficas .....	71
3.2.1 Proyección universal transversal de Mercator (UTM). .....	79
3.2.2 Proyección UTM WGS-84.....	83
3.2.3 Proyección cónica conformal de Lambert .....	84
3.2.4 Transformación de coordenadas geográficas WGS-84 a planas bajo la proyección UTM.....	88

3.2.5 Transformación de coordenadas geográficas a planas bajo la proyección cónica de Lambert SIRGAS-ES2007.....	93
--	----

#### CAPÍTULO IV

SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS).....	118
4.1 Principios del GPS. ....	118
4.2 Conceptos Básicos.....	128
4.3 Organización del Sistema GPS.....	133
4.3.1 Segmento Espacial.....	134
4.3.2 Segmento de Control.....	136
4.3.3 Segmento Usuario. ....	137
4.4 Señales y Frecuencias GPS.....	140
4.5 GPS Navegadores y Geodésicos.....	144
4.6 Ventana y Máscara. ....	148
4.7 Precisiones con GPS.....	150
4.8 Archivos RINEX.....	151
4.9 Análisis de términos GDOP y PDOP.....	158
4.10 Fuentes de Errores con GPS.....	160
4.11 Sistema GLONASS (GPS Ruso).....	165
4.12 Sistema GALILEO (GPS Europeo).....	168

#### CAPITULO V

MANUAL DE USO DE EQUIPO GPS DE DOBLE FRECUENCIA APLICADO A LAS TÉCNICAS DE MEDICIÓN TOPOGRÁFICAS.....	172
5.1 Fundamentos teóricos de las Técnicas de Medición.....	172
5.1.1 Estático.....	172
5.1.2 Estático-Rápido. ....	183
5.1.3 Cinemático en Tiempo Real (RTK).....	186
5.2 Manual de uso del GPS de doble frecuencia. ....	189
5.2.1 Equipos e Instrumentos. ....	189
5.2.2 Método Estático.....	194
5.2.3 Método Estático - Rápido.....	227
5.2.4 Método Cinemático en Tiempo Real. (RTK). ....	230

## CAPITULO VI

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LEVANTAMIENTOS GEORREFERENCIADOS  
CON ESTACIÓN TOTAL RESPECTO A MEDICIONES CON GPS EN TÉCNICA  
RTK..... 253

6.1 Conceptos generales de poligonales. .... 253

6.2 Poligonal cerrada con control geodésico FIAUES..... 258

6.3 Trazo de poligonal con GPS..... 265

6.4 Trazo de poligonal con Estación Total. .... 266

6.5 Comparación de resultados de los levantamientos. .... 267

## CAPITULO VII

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ..... 273

7.1 Conclusiones..... 273

7.2 Recomendaciones..... 275

## BIBLIOGRAFÍA ..... 277

## ANEXOS ..... 279

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Datos de algunos elipsoides de referencia .....	31
Tabla 3.1: Diferentes parámetros utilizados para obtener coordenadas planas bajo la proyección cónica conforme de Lambert adaptada para El Salvador. ..	95
Tabla 5.1: Descripción de botones y luces LED del equipo receptor .....	190
Tabla 6.1: Tipos de mojones utilizados en cada vértice de la poligonal.....	262
Tabla 6.2: Referencias a Cada vértice de la Poligonal FIAUES.....	264
Tabla 6.3: Coordenadas planas obtenidas con GPS (Técnica RTK) .....	266
Tabla 6.4: Coordenadas planas obtenidas con Estación Total .....	267
Tabla 6.5: Desviación de coordenadas de cada Vértice Geodésico .....	268
Tabla 6.6: Criterios de análisis entre métodos de medición.....	270



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: La Tierra como un disco plano flotante cubierta por una bóveda celeste. ....	11
Figura 2.2: Esquematación de la cosmogonía babilonia. ....	11
Figura 2.3: Interpretación del Universo por los hindúes. ....	12
Figura 2.4: La Tierra como una caja rectangular según los egipcios. ....	14
Figura 2.5: Representación del Universo según los Mayas. ....	15
Figura 2.6: Forma de la tierra según Tales de Mileto (625-546 a.C.).....	16
Figura 2.7: Forma de la Tierra y el Universo según el pensamiento de Anaximandro de Mileto (610-547 a.C.) .....	17
Figura 2.8: Ilustración de la argumentación descrita por Aristóteles (384-322 a.C.) sobre la esfericidad de la Tierra.....	19
Figura 2.9: Representación del método utilizado por Eratóstenes (284-192 a.C.) para corroborar la esfericidad de la tierra y determinar su radio.....	21
Figura 2.10: Elipsoide .....	25
Figura 2.11: Atracción Gravitacional hacia el centro de la Tierra.....	26
Figura 2.12: La rotación de la Tierra alrededor de su eje .....	27
Figura 2.13: Atracción Gravitacional entre la Tierra y la Luna .....	27
Figura 2.14: Satélite artificial.....	28
Figura 2.15: Elipsoide .....	30
Figura 2.16: Comparación entre elipsoides y la forma de la tierra. ....	33
Figura 2.17: El Geoide .....	34
Figura 2.18: Diferentes superficies de la tierra.....	35
Figura 2.19: Relación entre las superficies del Elipsoide, Geoide y topografía	36
Figura 2.20: Datum global.....	37
Figura 2.21: Datum local .....	37
Figura 2.22: Sistemas de referencia Local y Geocéntrico.....	39
Figura 2.23: Marco de referencia IGS.....	42
Figura 2.24: Fragmento de mapa con la información técnica .....	44
Figura 2.25: Equipo GPS de doble Frecuencia.....	45

Figura 2.26: Estación de Triangulación Meades Ranch E.U.....	46
Figura 2.27: Ubicación del Datum WGS-84 .....	48
Figura 2.28: Movimiento de las placas tectónicas de la Tierra .....	50
Figura 2.29: Marco de Referencia Terrestre ITRF 2005, Modelo de Velocidades. .....	52
Figura 2.30: Estaciones de referencia de la red SIRGAS 2000 .....	54
Figura 2.31: Densificación del marco de referencia SIRGAS para el Salvador	56
Figura 2.32: Densificaciones geodésicas departamentales ligadas a sirgas- ES2007 .....	57
Figura 2.33: Densificaciones geodésicas: red geodésica del departamento de Usulután.....	57
Figura 2.34: El nivel medio del mar como superficie de referencia.....	58
Figura 2.35: Representación del Modelo Geoidal Mundial EGM-96. ....	62
Figura 2.36: Modelo Geoidal Mundial EGM-2008.....	64
Figura 2.37: Representación 3D del geoide de El Salvador .....	67
Figura 3.1: Meridianos .....	69
Figura 3.2: Paralelos.....	70
Figura 3.3: Coordenadas geográficas de un punto “P” .....	70
Figura 3.4: Proyección de la tierra a un plano .....	71
Figura 3.5: Proyecciones Cartográficas principales. ....	73
Figura 3.6: Distorsiones en proyecciones planas.....	74
Figura 3.7: Orientaciones de proyecciones planas. ....	74
Figura 3.8: proyecciones planas con diferente punto de perspectiva. ....	75
Figura 3.9: Proyección cilíndrica .....	76
Figura 3.10: Distorsiones en proyecciones cilíndricas .....	77
Figura 3.11: Proyecciones cónicas .....	78
Figura 3.12: Distorsiones en proyecciones cónicas .....	78
Figura 3.13: Proyecciones cónicas secantes y tangentes .....	79
Figura 3.14: Sistema Universal Transversal de Mercator (UTM) .....	81
Figura 3.15: Configuración de una zona UTM .....	82
Figura 3.16: Cilindro tangente transversalmente al elipsoide WGS-84.....	84

Figura 3.17: Proyección de Mercator .....	85
Figura 3.18: Superposición del cono sobre el globo terráqueo, Proyección Cónica Conformal de Lambert .....	86
Figura 3.19: Proyección Lambert Conforme Cónica .....	87
Figura 3.20: Hemisferio norte de Huso 30 utilizado en la proyección UTM. ....	91
Figura 3.21: Hemisferio sur de Huso 30 utilizado en la proyección UTM.....	92
Figura 3.22: El Salvador enmarcado por los paralelos y meridianos requeridos para transformar coordenadas geográficas WGS-84 a Coordenadas Planas Lambert SIRGAS-ES2007. ....	97
Figura 4.1: Fuerzas armadas estadounidenses utilizando equipo GPS.....	119
Figura 4.2: Medición con GPS utilizando un solo satélite: esfera con centro en satélites y radio igual a la distancia hasta el receptor. ....	122
Figura 4.3: Incorporación del segundo Satélite a la medición con GPS .....	122
Figura 4.4: Incorporación del tercer Satélite a la medición con GPS .....	123
Figura 4.5: Incorporación del cuarto Satélite a la medición con GPS .....	124
Figura 4.6: Esquema de medición del tiempo de viaje de la señal .....	125
Figura 4.7: Reloj atómico. ....	127
Figura 4.8: Organización del Sistema GPS .....	134
Figura 4.9: Constelación de satélites NAVSTAR del sistema GPS.....	135
Figura 4.10: Estaciones de seguimiento del sistema GPS .....	136
Figura 4.11: Receptor GPS con antena integrada. ....	138
Figura 4.12: Maletín que incluye todo el equipo GPS, desde el sensor y la unidad de control, hasta las baterías, cables, soportes, etc. ....	139
Figura 4.13: Derivación de Frecuencias Portadoras, L1 y L2, de la frecuencia fundamental. ....	141
Figura 4.14: Relación entre la frecuencia fundamental, las frecuencias portadoras y los códigos de modulación. ....	143
Figura 4.15: Receptores GPS de Navegación. ....	145
Figura 4.16: Receptor BASE y MOVIL de GPS geodésico de una frecuencia. ....	146
Figura 4.17: Receptor GPS geodésico de Doble Frecuencia. ....	147
Figura 4.18: Mascara de elevación para recibir señales de los satélites. ....	149
Figura 4.19: Ventana de observación al medir con equipos GPS.....	150

Figura 4.20: Archivos RINEX con diferentes extensiones y vista de un archivo con el fichero de observación. ....	155
Figura 4.21: Buena geometría satelital. ....	159
Figura 4.22: Mala geometría Satelital .....	160
Figura 4.23: Error de la Ionosfera .....	163
Figura 4.24: Error de la Tropósfera.....	163
Figura 4.25: Error de Multitrayectoria.....	164
Figura 4.26: Error por pérdida de ciclo.....	165
Figura 4.27: Constelación de satélites GLONASS.....	166
Figura 4.28: Constelación de satélites GALILEO.....	169
Figura 5.1: Inclinometro y brújula.....	175
Figura 5.2: Medida del Rango de Azimut.....	176
Figura 5.3: Medida del Angulo vertical del obstáculo.....	176
Figura 5.4: Diagrama de obstrucción .....	177
Figura 5.5: Detalle de monumento.....	179
Figura 5.6: Equipos receptores GPS en técnica de medición Estática .....	182
Figura 5.7: Ubicación recomendada para receptor Base y Móvil en técnica RTK. ....	187
Figura 5.8: Elementos necesarios para la medición con equipo GPS diferencial. ....	189
Figura 5.9: Conjunto de botones y luces LED del receptor GPS .....	190
Figura 5.10: Croquis de ubicación de puntos FIA1 y FIA2.....	195
Figura 5.11: Construcción de mojones tipo 3 modificado .....	196
Figura 5.12: Colocación de placa para Base de referencia RTK en Biblioteca FIA. ....	197
Figura 5.13: Equipo GPS de doble frecuencia marca Leica. ....	197
Figura 5.14: Colocación de trípode con base nivelante. ....	198
Figura 5.15: Receptor GPS acoplado, correctamente nivelado. ....	198
Figura 5.16: Medición de altura inclinada de antena.....	199
Figura 5.17: Colector y receptor conectados a través de cable. ....	199
Figura 5.18: Equipos satelitales correctamente instalados, listos para iniciar la medición. ....	200

Figura 5.19: Extracción de memorias SD .....	213
Figura 5.20: Croquis de ubicación de puntos ME01 y ME02 .....	228
Figura 5.21: Placas colocadas en los puntos ME01 y ME02 .....	228
Figura 5.22: Acople de extensión de antena a receptor.....	231
Figura 5.23: Colocación de antena. ....	231
Figura 5.24: configuración del receptor móvil en trabajos que no requieran alta precisión. ....	232
Figura 6.1: Poligonal abierta sin control.....	254
Figura 6.2: Poligonal abierta con control geodésico .....	255
Figura 6.3: Poligonal Cerrada con control geodésico .....	256
Figura 6.4: Vértices Geodésicos .....	257
Figura 6.5: Puntos que conforman poligonal FIAUES.....	259
Figura 6.6: Vista de poligonal cerrada FIAUES.....	260
Figura 6.7: Tipos de mojones que conforman poligonal FIAUES.....	261

## **CAPÍTULO I**

### **GENERALIDADES**

#### **1.1 Antecedentes**

La topografía es una ciencia que se utiliza en diferentes aplicaciones de la Ingeniería Civil, utilizando instrumentos y procedimientos con cuales se determinan las características topográficas, dimensiones y posición relativa de una porción limitada de la superficie terrestre. También compete a la topografía el replanteo y control geométrico en obras civiles.

Los equipos topográficos y las técnicas de medición han evolucionado en el tiempo, diversidad de factores han contribuido a mejorar la forma de realizar las mediciones topográficas, los avances de la informática, electrónica, fotogrametría y el posicionamiento por satélite, son sin duda los aspectos más relevantes que han influido en el proceso de desarrollo. Las entidades que contratan servicios topográficos exigen mayor precisión en las mediciones, en paralelo al avance de la tecnología y a la precisión que permiten los instrumentos.

Equipos como el Teodolito, el Nivel Fijo y los Distanciómetros, facilitaron grandemente los procedimientos de mediciones topográficas, la Estación Total incorporó una nueva función; la de almacenar la información automáticamente, conforme se realiza la medición. Los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) hicieron posible determinar la posición de un punto en la tierra usando las señales emitidas por satélites que se encuentran girando alrededor de la Tierra.

A lo largo de la historia, diversos países han adoptado nuevas tecnologías y métodos de medición en topografía y geodesia, con el fin de establecer y actualizar aspectos limítrofes y geográficos. En El Salvador se han desarrollado diversos trabajos orientados a la determinación de la forma y dimensiones del territorio nacional, logrando establecer la primera Red Geodésica Nacional, que estaba constituida por tres arcos principales de triangulación: Arco Norte, Central y Costero. Estas redes geodésicas fueron levantadas con base en observaciones astronómicas, con equipos modernos en su época como lo eran los teodolitos y tenían líneas base de longitud de 20 a 70 km, de donde se derivan cadenas de segundo y tercer orden.

En la actualidad estas redes geodésicas son observadas a través de GPS, que permiten la determinación de posiciones en cualquier lugar del globo terrestre en un sistema mundial de coordenadas, con precisiones absolutas de metros hasta precisiones relativas al nivel del centímetro.

En el país la institución encargada de administrar y actualizar las redes geodésicas nacionales es el Instituto Geográfico y Catastro Nacional (IGCN), que en el año 1998 establece la primera Red Geodésica Nacional de primer orden con equipo satelital GPS, enmarcándola en el Sistema Geodésico Mundial (WGS-84), densificando posteriormente redes departamentales y municipales.

En el 2007 se levanta una nueva Red Geodésica, denominada SIRGAS-ES2007, la cual está compuesta por 38 estaciones distribuidas homogéneamente sobre el

territorio nacional, el objetivo principal de esta nueva Red Geodésica es suministrar una plataforma de referencia moderna, precisa y confiable a los productores y usuarios de información georreferenciada en el país, garantizando que estas coordenadas estén definidas sobre el mismo sistema que sirve como base para el cálculo de las orbitas de los satélites GPS, distribuidas por el Servicio Internacional del Sistema Global de Navegación por Satélite (IGS), de esta manera, los vértices de la Red Geodésica Nacional SIRGAS-ES2007, pueden ser utilizadas como estaciones de referencia y sus coordenadas junto a las efemérides satelitales del IGS, permiten obtener posiciones geodésicas referidas directamente al Marco de Referencia Terrestre Internacional o The International Terrestrial Reference Frame (ITRF) vigente.

La tecnología GPS ha tenido un gran auge en los últimos años, ya que esta presenta en todos sus campos de aplicación resultados rápidos y eficaces. Estos campos de aplicación son fundamentales para el desarrollo humano y van desde la navegación aérea y marítima, monitoreo de actividades sísmicas, hasta las obras más vanguardistas de ingeniería.



## 1.2 Planteamiento del problema

Los dispositivos de Sistema de Posicionamiento Global (GPS) han surgido como alternativa para llevar a cabo diversas aplicaciones topográficas y geodésicas de manera rápida y precisa, entre ellos los GPS de doble frecuencia que logran determinar la posición de un punto, con precisiones hasta debajo del centímetro, debido a que realiza correcciones en tiempo real partiendo de un sistema de referencia.

Dichos GPS diferenciales presentan elevados costos de adquisición y requieren personal calificado para su operación, por ende, son pocas las instituciones o empresas que cuentan con estos dispositivos, y son utilizados principalmente para aplicaciones geodésicas, mientras que los beneficios que éstos ofrecen son amplios y de mucha utilidad para levantamientos topográficos y replanteo en obras.

La Universidad de El Salvador posee equipos GPS de doble frecuencia y software para procesamiento de datos, sin embargo, no son utilizados en beneficio de ésta y de la comunidad estudiantil de la carrera de Ingeniería Civil, debido que carece de personal capacitado para su enseñanza, y es necesario que se realicen investigaciones sobre la utilización de estos de manera fácil y práctica.

### 1.3 Objetivos

Objetivo general:

- Describir las técnicas de medición topográficas: estática, estática rápida, y RTK con GPS de doble frecuencia y su procesamiento con el software Carlson Survey GNSS.

Objetivos específicos:

- Definir conceptos relacionados con la tecnología GPS, geodesia y el sistema de coordenadas planas Lambert SIRGAS-ES2007.
- Definir un manual de uso del equipo receptor y colector, así como del software de procesamiento de datos.
- Establecer una red de puntos geodésicos dentro de la UES que facilite la georreferenciación de futuros levantamientos.
- Comparar coordenadas obtenidas de levantamientos con Estación Total respecto a las de GPS.

## **1.4 Alcances**

El estudio pretende la realización de un manual para la operación y procesamiento de datos, de los GPS de doble frecuencia Carlson BRx GNSS Receiver, para ser implementado en la cátedra de Topografía, aportando a una formación académica moderna y de mejor calidad de los Estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador.

Obtenidos los conocimientos en la utilización y aplicación del GPS, se asignará un par de puntos con coordenadas geodésicas a cada Facultad de la Universidad de El Salvador Sede Central, para georreferenciar futuros levantamientos y proyectos de construcción de manera fácil e inmediata.

Contribuir a una mayor implementación de los GPS de doble frecuencia en el área de topografía, logrando que estos se posicionen como los dispositivos de alta precisión, dejando atrás los prejuicios sobre su utilización para diferentes levantamientos, obras y proyectos civiles.

## 1.5 Limitaciones

- Existen pocas investigaciones realizadas en nuestro país respecto a la utilización de los dispositivos GPS de doble frecuencia y el procesamiento de datos en softwares informáticos.
- En el país son pocos los profesionales capacitados en la tecnología GPS y con disponibilidad de tiempo para contribuir con asesorías técnicas en el desarrollo de la investigación.

## 1.6 Justificaciones

Con el avance de la tecnología de Sistema de Posicionamiento Global (GPS) a nivel mundial, muchos países están implementándolos en sus levantamientos topográficos y control geométrico de obras, debido a las ventajas que estos presentan respecto a otros equipos topográficos.

En El Salvador los equipos de medición más utilizados son el teodolito y la estación total, que por muchos años han proporcionado resultados con precisiones aceptables, pero es importante que en el país se incorporen tecnologías innovadoras como el GPS de doble frecuencia, ya que proporciona un marco de referencia cuyas bases se vinculan a las técnicas más modernas de medición y posicionamiento vigentes en la actualidad, contribuyendo al desarrollo en el área de la topografía.

El manejo de información y aplicación de estos GPS se concentra en su mayoría en instituciones gubernamentales, es por ello que se considera importante desarrollar una investigación acerca de esta tecnología y su aplicación práctica en el campo de la topografía.

La Universidad de El Salvador cuenta con equipos GPS de doble frecuencia, por lo tanto, es necesario desarrollar un manual de uso y operación de éste, describiendo las técnicas para la toma de datos y el manejo del software CARLSON SURVEY GNSS, del cual, la Escuela de Ingeniería Civil cuenta con licencia de uso, para llevar a cabo la investigación.

En el desarrollo de la investigación se establecerá un par de puntos geodésicos en cada facultad de la Universidad de El Salvador, facilitando el traslado de coordenadas a los diversos proyectos de construcción o de otra índole que se ejecuten en un futuro dentro de la Universidad.

Con el desarrollo de este trabajo se podrá implementar las técnicas de medición con GPS de doble frecuencia, dotando a los estudiantes con las herramientas necesarias para la realización de levantamientos topográficos de mayor precisión, de esta manera el país contará con profesionales capacitados con las nuevas tecnologías de medición.

Se compararán las precisiones de levantamientos topográficos realizados con estación total y con el GPS, con el objetivo de analizar los resultados logrando establecer las áreas de aplicación dentro de la Ingeniería Civil.

## **CAPITULO II**

### **GEODESIA**

#### **2.1 Fundamentos de geodesia**

Desde siglos pasados hasta la actualidad, han surgido diferentes mitos, creencias y teorías sobre la verdadera forma del planeta Tierra. Se conoce que muchas civilizaciones antiguas concebían la Tierra con diferentes tamaños y formas, en un principio se pensaban que el mundo era una especie de tablón rectangular, consideraban la Tierra plana, refiriéndose que existía una superficie sobre la que se apoyaban las montañas.

##### **Tierra Plana**

El origen de la geodesia se remonta a la época donde filósofos, pensadores y religiosos de diferentes regiones, establecieron una forma de la Tierra, considerándola plana, de gran extensión y que debía estar apoyada o flotando sobre distintos sitios.

Los babilonios consideraban la tierra como un disco plano flotante sobre el océano, además creían que se encontraba cubierta por una bóveda celeste metálica donde colgaban las estrellas (Figura 2.1), y dicha bóveda estaba rodeada por una capa de agua que en ocasiones permitía filtraciones provocando lluvia (Figura 2.2).



*Figura 2.1: La Tierra como un disco plano flotante cubierta por una bóveda celeste.*



*Figura 2.2: Esquematzación de la cosmogonía babilonia.*



La civilización hindú interpretó el universo de dos maneras, en tiempos diferentes y por distintos sectores religiosos, en su primer pensamiento consideraban la tierra encerrada por los anillos de Sheshu, una Cobra negra considerada como animal sagrado, y en el fondo de todo existía un océano de leche, donde nadaba una tortuga gigante llamada Gran A'Tuin, que cargaba en su caparazón cuatro elefantes ubicados según los puntos cardinales. Estos elefantes sostenían la tierra, considerada como un disco simétrico con una gran montaña en su centro (Figura 2.3). A su vez la cobra que rodeaba dicho disco conteniendo el mar, formaba con su parte superior un anillo que formaba la bóveda celeste.

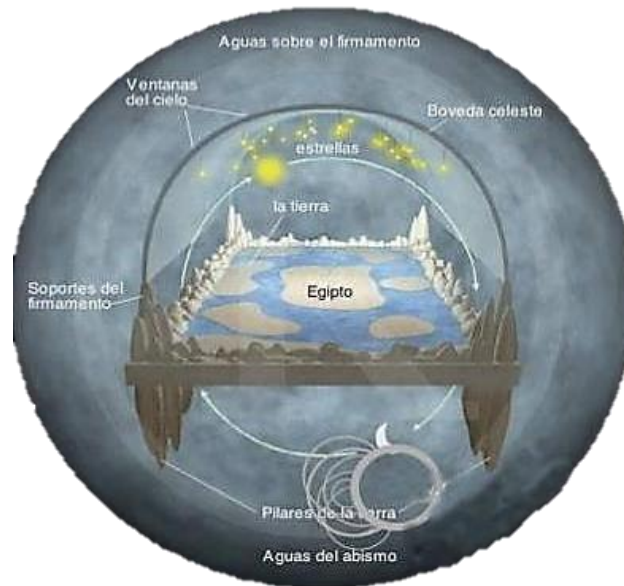


*Figura 2.3: Interpretación del Universo por los hindúes.*

La segunda visión del universo la estableció la religión fundada por Vardhamana Mahavira, quienes introdujeron el concepto de dualidad cósmica para dar una explicación satisfactoria del Universo. Sostenían que la Tierra estaba formada

por una serie de anillos concéntricos, alternándose tierras y mares. El círculo interior denominado Jambudvipa estaba dividido en cuatro partes iguales, teniendo a la montaña sagrada Meru en su centro. La India se localizaba en el sector más al sur. El Sol, la Luna y las estrellas describían trayectorias circulares alrededor de esa montaña, moviéndose en forma paralela a la Tierra. De acuerdo con este modelo, el Sol, al girar en torno a Meru debería iluminar en forma sucesiva cada cuadrante, pero ya que el día duraba doce horas, el Sol podría iluminar solamente dos de éstos cada veinticuatro horas. Para resolver esta incongruencia introdujeron dos soles, dos lunas y dos conjuntos de estrellas.

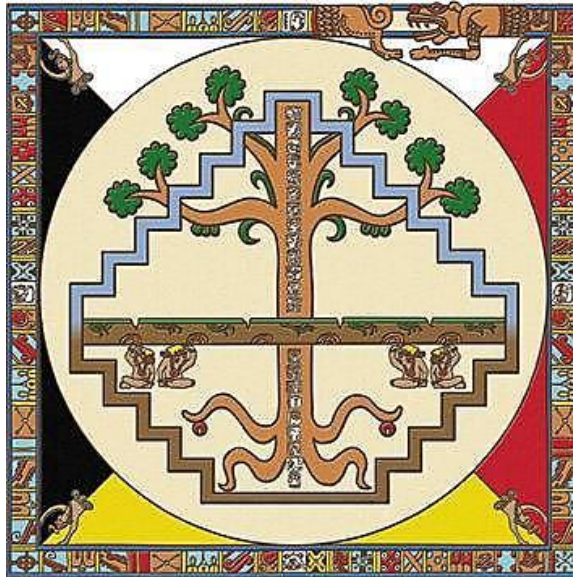
El pueblo egipcio concebía el universo como una caja rectangular, y el fondo de dicha caja era la Tierra, plana, con la forma rectangular y Egipto ubicado al centro (Figura 2.4). Además, creían que el eje mayor era en dirección Norte-Sur, y el eje menor era en dirección Este-Oeste, y que la parte superior era el cielo considerado una superficie plana y metálica sostenida por cuatro montañas distribuidas en cada esquina de la caja, pero según las observaciones realizadas, aceptaron que en realidad era una superficie convexa llena de agujeros de donde colgaban las estrellas a través de cables. Las cuatro montañas se conectaban entre sí, por una pared rocosa que rodeaba la Tierra evitando que los hombres cayeran al abismo.



*Figura 2.4: La Tierra como una caja rectangular según los egipcios.*

La cultura China tenía su propia interpretación del Universo, la versión más antigua que se conoce de estos, describe que el universo estaba formado por un cielo esférico y la tierra en forma de cuenco con una abertura hacia abajo, y se encontraba limitada por aristas lineales que le daban un aspecto de cuadrado convexo. Posteriormente, alrededor de la segunda centuria antes de nuestra Era, modificaron algo este modelo, asegurando que el mundo era un esferoide de unos 2 000 000 li de diámetro (1152,000 km), aunque en realidad era 1 000 li (576 km) más corto en dirección norte-sur que en la este-oeste. Según se sabe, el astrónomo Chang Heng del siglo I afirmaba que el Universo era como un huevo cuya yema sería la Tierra, que descansaba sobre agua, mientras que el Cielo, sostenido por vapores emanados del océano, equivalía al cascarón.

En América los mayas son considerados los mejores astrónomos de esa época, y la información obtenida sobre la manera que interpretaban el universo, es el resultado del seguimiento de varios patrones culturales, logrando descifrar que estos consideraban el universo dividido en tres niveles superpuestos; el primer nivel era el cielo, dividido en trece capas de forma piramidal donde el Sol, la Luna y Venus ocupaban su propia capa, el segundo nivel era la tierra en forma de plancha plana que flotaba sobre el agua y era sostenida por un monstruo acuático, y el tercer nivel era el inframundo constituido por nueve capas en forma de pirámide invertida (Figura 2.5).



*Figura 2.5: Representación del Universo según los Mayas.*

## Griegos

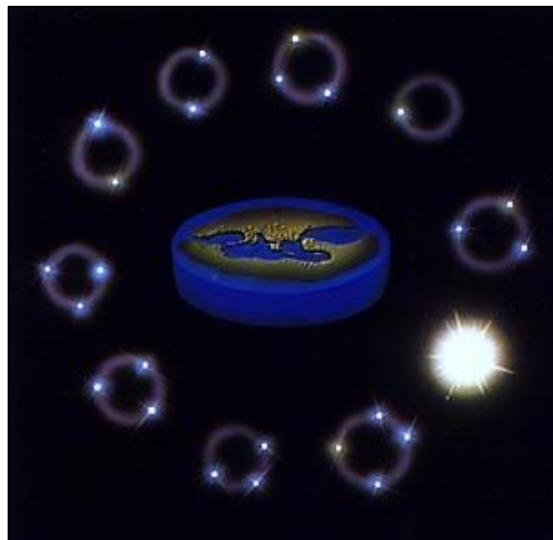
Muchos filósofos griegos trataron de explicar la forma que poseía la tierra, en principio sus pensamientos se consideraban poéticos antes que científicos, por ejemplo, *Homero* (900 a. C), en sus obras resume conocimientos cosmográficos y geográficos de la época, y expone que la Tierra es plana y limitada por el océano, situando en el centro de la Tierra a Grecia y principalmente al Olimpo.

*Tales de Mileto* (625-546 a. C.) Suponía que la Tierra estática en forma de un inmenso disco flotante en un océano infinito, al centro del disco se encontraba el mar Mediterráneo (Figura 2.6).



Figura 2.6: Forma de la tierra según Tales de Mileto (625-546 a.C.)

*Anaximandro de Mileto* (610-547 a.C.), discípulo de Tales, decía que el cielo era una esfera completa y al centro de ésta se encontraba la tierra suspendida, atribuyéndole una forma cilíndrica y estableció que dicho cilindro era tres veces más ancho que profundo, el cual no caía por estar equidistante de todas las partes de la esfera. Este filósofo creía que alrededor del cilindro se encontraban unos anillos celestes y a través de ellos era posible que el Sol y demás astros penetraran la atmosfera formada por la esfera (Figura 2.7).



*Figura 2.7: Forma de la Tierra y el Universo según el pensamiento de Anaximandro de Mileto (610-547 a.C.)*

*Anaxímenes* (565-500 a.C.), Este filósofo y astrónomo, estipulaba a la tierra la forma de un disco plano con un océano circundante, que estaba suspendido en el aire y los astros giran en torno a él.

*Pitágoras* (582 – 497 a.C.) Fundador de la Escuela Pitagórica, donde los miembros de ésta se dedicaban a cuestiones políticas, religiosas, filosóficas y matemáticas. Los filósofos que pertenecían a esta escuela exponían sus ideas sobre el Universo, y es aquí donde se tienen los primeros indicios que la tierra debe poseer una forma esférica, ya que los astros tenían igual forma, además que, si la tierra era considerada centro del Universo, debía tener una forma simétrica en todas sus direcciones, es decir, una esfera que encajaba perfectamente en un sitio privilegiado.

*Aristóteles* (384-322 a.C.) Argumentaba que la esfericidad de la tierra no era solo por el hecho de ser el centro del Universo, por razones geométricas o de perfección. Aristóteles descubrió de forma práctica que, al estar situado en un puerto, lo primero que se veía de un barco que se acerca era el mástil, siendo posible esto solo si la tierra presentaba cierta esfericidad (Figura 2.8). Otras de sus explicaciones de la forma esférica de la tierra provenían del hecho que al observar la estrella polar viajando en la dirección Norte-Sur, la elevación de esta cambiaba a medida que se avanzaba en el meridiano.



*Figura 2.8: Ilustración de la argumentación descrita por Aristóteles (384-322 a.C.) sobre la esfericidad de la Tierra.*

*Eratóstenes* (284-192 a.C.) Es considerado el padre de la Geodesia, ya que fue el primero en desarrollar un modelo científico para determinar la esfericidad de la tierra y calcular su radio.

Para lograr avances en la astronomía y otras ciencias, resultaba necesario conocer cuál era el tamaño de la Tierra. Fue entonces que *Eratóstenes*, un geógrafo nacido en Siena, se tomó la tarea de determinar cuáles eran las dimensiones del mundo que posee una forma esférica. En un principio este geógrafo recolectó algunos datos que lo hacían constatar que la tierra era esférica y que además le permitirían determinar su tamaño; observando que los pozos ubicados en Siena; que se encontraba muy próxima al trópico de Cáncer, en el solsticio de verano a las doce del mediodía, estos recibían los rayos del Sol verticalmente, mientras en la ciudad de Alejandría; ubicada al norte de Siena



sobre el mismo meridiano, un obelisco en la plaza de Alejandría producía una sombra definida.

Eratóstenes supuso que los rayos del Sol llegaban a la tierra en forma de haz paralelo, y midiendo la longitud de la sombra producida por el obelisco y la altura del mismo, pudo determinar que los rayos solares formaban un ángulo de  $7^{\circ} 12''$  respecto a éste, y representa  $1/50$  de circunferencia (Figura 2.9). Entonces dicho ángulo era el mismo que formaba el arco de meridiano Siena- Alejandría respecto al centro de la tierra y al medir la distancia que existe entre estas dos ciudades, determinó que la longitud de arco era de 5,000 estadios, y al multiplicar 5,000 por 50 obtuvo la longitud de la circunferencia de la tierra de 250,000 estadios. Finalmente, con dicho valor y el conocimiento de la relación geométrica que tienen la circunferencia de un círculo y su radio, obtuvo que el radio terrestre era de 40,000 estadios; si se utiliza una longitud de estadio griego de 185 metros, el valor del radio era de 7 400,000 metros (7,400 km).

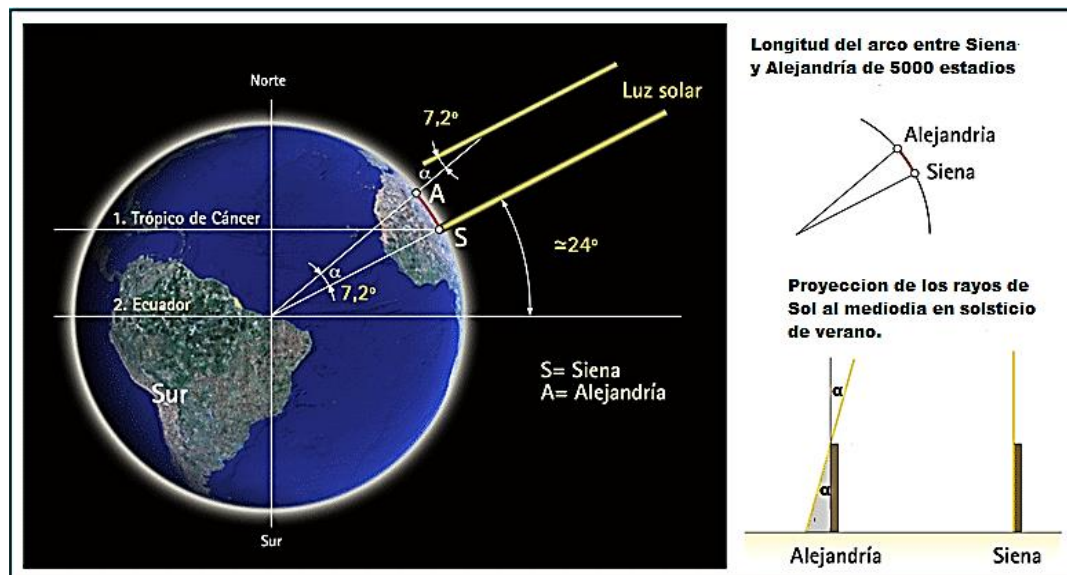


Figura 2.9: Representación del método utilizado por Eratóstenes (284-192 a.C.) para corroborar la esfericidad de la tierra y determinar su radio.

Al presentar Eratóstenes estos cálculos con base científica, pudo determinar en aquellos tiempos, la forma y dimensiones de la tierra dando paso a la ciencia llamada Geodesia.

### Concepto de Geodesia

Es una de las ciencias más antiguas cosechadas por el hombre. Geodesia proviene del griego: gêodaisia (geo, tierra; daien, dividir) que significa “dividir la tierra”. A través del tiempo han surgido diferentes significados de Geodesia, esto debido que es una ciencia que ha adoptado descubrimientos y nuevos campos de trabajo a medida que la tecnología evoluciona, y el hombre se interesa por

conocer las dimensiones de la tierra y como poder ubicar diferentes puntos sobre la superficie para lograr desplazarse con exactitud de un lugar a otro.

En el siglo XIX se entendía por Geodesia como la ciencia de la medición y representación de la superficie terrestre. Debido que la geodesia práctica progresa, se adoptan conceptos de geoide para designar la figura física de la tierra, surgen las representaciones cartográficas de cada país y se crean instrumentos más precisos para triangulaciones, gravimetría y medida del tiempo. A su vez al final de este siglo se enmarca los grandes trabajos sobre mediciones de arco meridianos, realizados por geodestas junto con astrónomos, determinando los parámetros de un elipsoide que mejor se aproxima con la tierra física.

A partir del siglo XX, Geodesia se define como la ciencia que trata sobre las investigaciones de la forma de la tierra y dimensiones de la superficie de la misma. En dicho siglo la Geodesia pasa de ser tradicional a espacial que utiliza en gran medida fundamentos matemáticos y con las nuevas tecnologías era posible determinar la forma de la Tierra o las coordenadas de puntos sobre la superficie. Con el lanzamiento de satélites artificiales, el Spuntik-1, las aplicaciones de estos a las ciencias de la tierra se orientan al estudio de la forma y dimensiones de ella.

En la actualidad, se define brevemente como la ciencia que resuelve los problemas relacionados con la figura y dimensiones de la Tierra. La Geodesia en

general es una ciencia básica, que estudia la determinación de la forma, dimensiones exactas y campo gravitatorio de la tierra, y la localización precisa de puntos sobre la superficie terrestre, en un espacio tridimensional variante con el tiempo e incluyendo la orientación de la tierra en éste. Está íntimamente relacionada con la astronomía y la geofísica, apoyándose alternativamente unas Ciencias en otras en su desarrollo, en sus métodos y en la consecución de sus fines.

En resumen, la Geodesia es una ciencia, que, desde la antigüedad, se ha dedicado al estudio de la medida y forma del globo terráqueo, adaptándose a las necesidades de cada época para aplicarse a problemas prácticos, como son básicamente la confección de mapas nacionales e internacionales, así como la preparación de cartas para aplicaciones específicas como las geológicas e hidrográficas, entre otras. Pudiendo afirmar que la Geodesia se ha necesitado y seguirá siendo necesaria mientras se proyecten obras humanas que requieran precisiones cada vez mayores.

### **Objetivo de la Geodesia**

Con fundamentos fisicomatemáticos, teorías, resultados de mediciones y cálculos, suministra una referencia geométrica a las otras geociencias, como en topografía, cartografía, catastro, fotogrametría, la planificación, la Ingeniería, construcción, urbanismo, navegación marítima, aérea y terrestre, Sistemas de Información Geográfica (SIG), su interés para fines militares y programas

espaciales. En otras palabras, se preocupa por proporcionar una red o estructura geométrica precisa para lograr establecer una referencia y ubicación exacta de un sitio, región, objeto u obra.

## **2.2 Subdivisión de la geodesia**

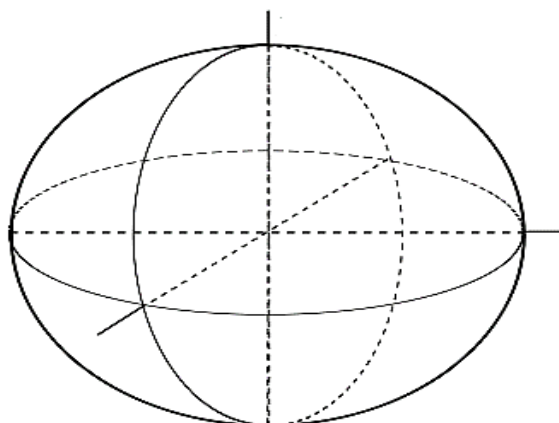
La geodesia por ser una ciencia con un amplio campo de estudio se divide en las siguientes ramas: Geodesia Astronómica, Geodesia Geométrica, Geodesia Física y Geodesia Espacial.

**Geodesia Astronómica:** También llamada astronomía de posición es aquella parte de la Geodesia que con métodos y observaciones astronómicas determina las coordenadas geográficas sobre la superficie terrestre de una serie de puntos fundamentales conocidos con el nombre de "Datum" o "Puntos astronómicos fundamentales", sobre los cuales se basará el cálculo de las posteriores redes geodésicas.

Estas determinaciones se realizan por métodos astronómicos de observación de estrellas en posiciones convenientes, utilizándose principalmente métodos de cálculo de trigonometría esférica y de álgebra matricial junto al ajuste de observaciones por mínimos cuadrados. Las principales aplicaciones geodésicas de los resultados obtenidos son la determinación de la figura de la Tierra (geoide) y la compensación astrogeodésica de redes.

**Geodesia Geométrica:** Es aquella rama de la Geodesia que estudia la Tierra desde el punto de vista geométrico, considerándola como una figura geométrica sencilla (elipsoide o esfera), para determinar la forma y dimensiones de la misma.

La figura geométrica que se ilustra en la Figura 2.10. es se llama elipsoide de revolución, y es una figura representativa de la forma y tamaño de la tierra, por lo que es la más utilizada en los modelos de la Geodesia Geométrica.



*Figura 2.10: Elipsoide*

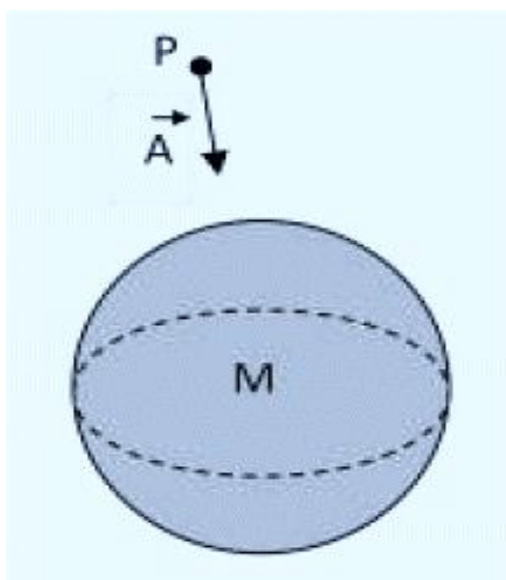
**Geodesia Física:** Es la rama de la geodesia que está constituida por aquellas teorías y métodos encaminados a la determinación de la figura física de la tierra, partiendo de mediciones y modelado del campo gravitatorio terrestre.

Esta rama de la geodesia estudia el efecto de la acción atractiva de otros cuerpos como el sol y la luna y cómo influyen sobre la masa de la tierra causando

deformaciones que pueden ser periódicas o aleatorias, lo que contribuye y afecta en mayor o menor medida a ese campo de gravedad provocando fuerzas y aceleraciones.

Las acciones más importantes estudiadas por la geodesia física en orden de intensidad decreciente son las siguientes:

- a. La atracción gravitacional newtoniana hacia el centro de la Tierra debido a la masa ( $M$ ) de la Tierra (Figura 2.11).



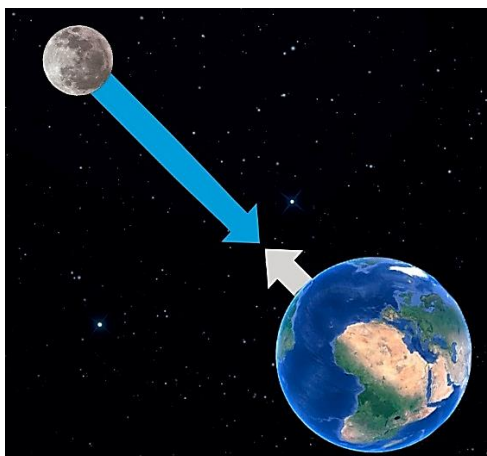
*Figura 2.11: Atracción Gravitacional hacia el centro de la Tierra*

- b. Las fuerzas y aceleraciones centrífugas provocadas por el hecho de que la Tierra gira alrededor de su eje (Figura 2.12).



*Figura 2.12: La rotación de la Tierra alrededor de su eje*

- c. La atracción gravitacional de la luna y el sol (Figura 2.13), que en forma aparente giran alrededor de la Tierra.

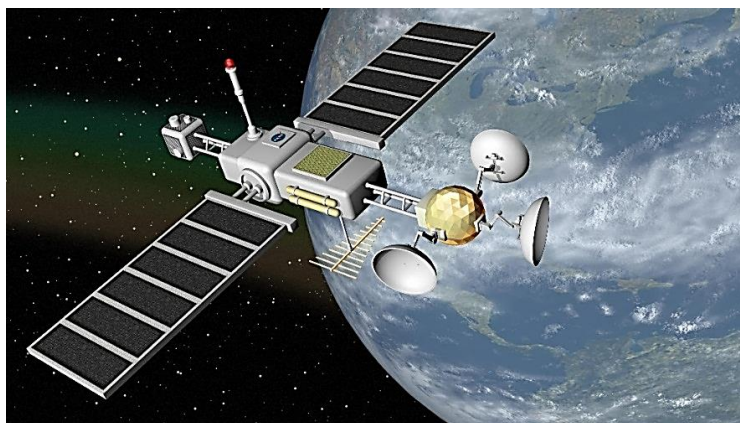


*Figura 2.13: Atracción Gravitacional entre la Tierra y la Luna*

Las dos primeras son las más importantes y su resultante es el campo de gravedad terrestre.



**Geodesia espacial:** Rama de la Geodesia que se encarga de la aplicación de técnicas espaciales para el estudio de la forma y dimensiones de la tierra, del campo de gravedad de la misma y de su comportamiento. Se basa en la recepción de señales electromagnéticas emitidas por dispositivos embarcados en satélites artificiales (Figura 2.14), o emitidas por cuásares extra galácticos, y en observaciones a la Luna y a las estrellas.



*Figura 2.14: Satélite artificial*

La geodesia espacial permite determinar la ubicación exacta de cualquier punto sobre la superficie terrestre, con una precisión elevada y con independencia de cuales sean las condiciones meteorológicas de la zona.

Las precisiones elevadas se obtienen debido a la definición de un sistema de referencia suficientemente bien determinado. En la definición de tal sistema de referencia se utiliza una combinación de los siguientes métodos de observación: Interferometría de Base Muy Larga, conocida por sus siglas en inglés VLBI (Very

Long Base Interferometry), Telemetría Láser sobre Satélites Artificiales (SLR), observaciones utilizando el Sistema de Posicionamiento Global por satélite (GPS), y junto a ellos el Sistema Francés de Determinación de Orbitas a partir del efecto Doppler conocido por las siglas DORIS. (Gárate, J. y Dávila, J.M. 2003).

Este sistema de referencia está constituido por los diversos métodos de observación descritos anteriormente con el objetivo de controlar continuamente la posición, rotación y traslación del planeta, así como la posición y las orbitas de traslación de los satélites, tomando como referencia cuásares extra galácticos, observaciones a la Luna y a las estrellas; lo que garantiza que las mediciones que se realizan utilizando los métodos de la geodesia espacial tengan una elevada precisión.

### **2.3 Conceptos de elipsoide, geoide y datum.**

#### **El elipsoide**

Como bien se sabe, la tierra no es plana ni esférica, sino una figura geométrica que se asemeja a un elipsoide de revolución, achatado en los polos, donde el hemisferio sur es un poco más voluminoso que el norte, de ahí surgen conceptos como:

**Elipsoide:** Figura matemática que más se asemeja a la verdadera forma de la Tierra (Figura 2.15) y responde a fórmulas analíticas de manera que resulta útil para hacer cálculos geodésicos apoyándose en ella. El elipsoide es la base de la planimetría.

Los parámetros que definen un elipsoide son los siguientes:

- Semieje ecuatorial o mayor (a): longitud del semieje correspondiente al ecuador, desde el centro de masas de la Tierra hasta la superficie terrestre.
- Semieje polar o menor (b): longitud del semieje desde el centro de masas de la Tierra hasta uno de los polos.
- Relación de achatamiento (f): es la medida de la excentricidad, su ecuación es  $f = (a-b) / a$

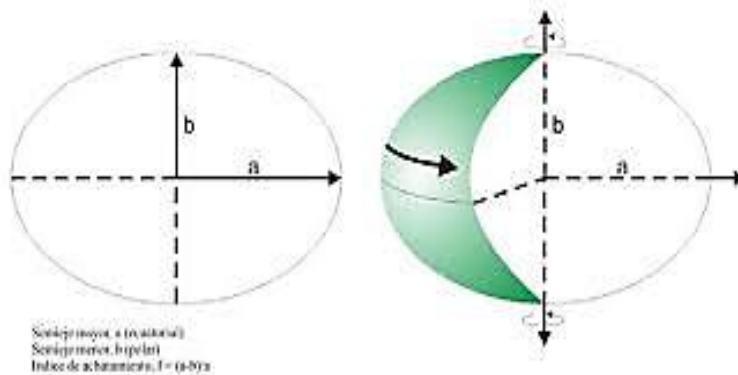


Figura 2.15: Elipsoide

En geodesia se usan diversos modelos de elipsoides, denominados elipsoides de referencia se diferencian unos de otros por los valores asignados a sus parámetros  $a$  y  $b$ .

Un elipsoide de referencia es un elipsoide utilizado como un marco de referencia para el desarrollo de cálculos geodésicos, el elipsoide por ser una figura geométrica relativamente simple permite calcular las coordenadas de cualquier punto sobre su superficie.

En la Tabla 2.1 se muestran los parámetros de los elipsoides de referencia más utilizados, así como las regiones donde se utilizan:

*Tabla 2.1: Datos de algunos elipsoides de referencia*

NOMBRE	RADIO ECUATORIAL "a" (en m.)	ACHATAMIENTO "f"	REGIÓN
Airy (1830)	6376563,40	1/299.3	Gran Bretaña
Bassel (1841)	6377397,16	1/299.15	Japón
Clarke (1866)	6378206,40	1/295.0	Norteamérica
Clarke (1880)	6378249,15	1/293.5	Francia, África
Everest (1830)	6377276,35	1/300.8	India
Internacional (1924)	6378388,00	1/297.0	Europa, Suramérica
Krassovsky (1940)	6378245,00	1/298.3	Rusia
GRS-80	6378137,00	1/298.257222101	-
WGS-84	6378137,00	1/298.257223563	Mundial

Cabe mencionar que la región Norte América incluye además Centro América y Panamá.

En El Salvador el elipsoide de referencia que se utilizó hasta febrero de 2017 fue el Elipsoide Clarke 1866, pero a partir de marzo del mismo año se cambió al elipsoide WGS-84.

En la actualidad el elipsoide de referencia más utilizado es el descrito en el sistema World Geodetic System 84 (WGS-84), desarrollado por el Departamento de Defensa de los EEUU, y que tiene como origen el centro de masas de la Tierra. Su popularidad se debe a que es el utilizado por el Sistema de Posicionamiento Global por Satélite GPS. Este elipsoide es el que más se asemeja a la forma de la tierra (Figura 2.16)

Los parámetros fundamentales del elipsoide WGS-84 son los siguientes:

Nombre: WGS-84

Origen: Centro de masas de la tierra

Radio ecuatorial "a": 6378137.0000 metros

Radio polar "b": 6356752.3142 metros

Achatamiento "f": 1/298.257223563

Región de uso: Uso mundial

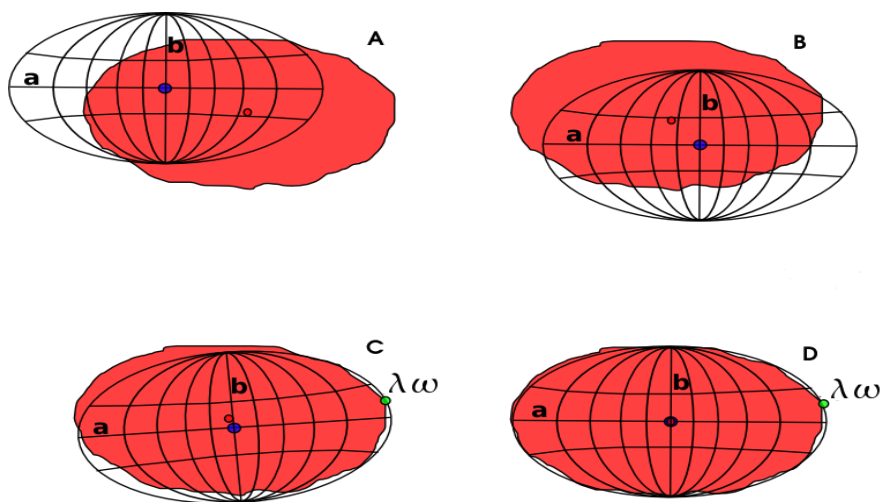


Figura 2.16: Comparación entre elipsoides y la forma de la tierra.

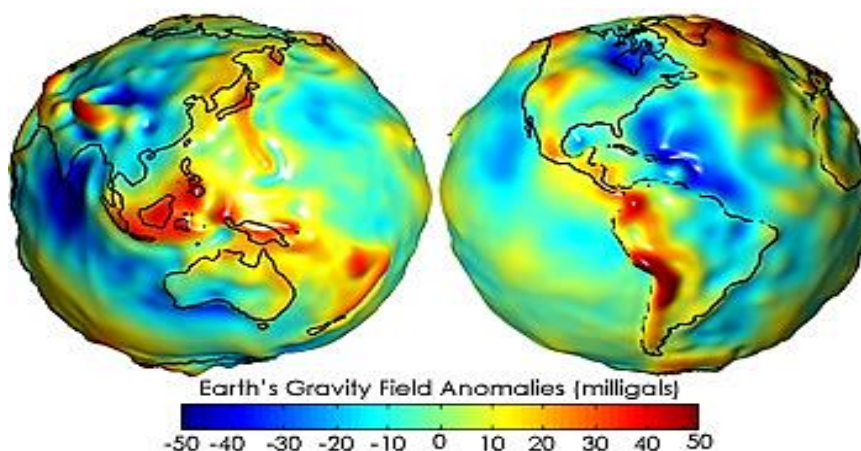
## El geoide

Si se desean conocer coordenadas planas de puntos sobre la tierra el elipsoide es la figura de referencia indicada, sin embargo, si lo que se desea medir son altitudes, el elipsoide no es adecuado. Dado que la mayor parte de la Tierra está cubierta por mares y océanos (70,8 %) entonces la superficie de referencia por excelencia para medir altitudes es el nivel medio del mar. Además, este nivel medio es una mejor aproximación a la forma real de la Tierra vista desde el espacio. Es por esto que se introduce una nueva figura llamada Geoide, definida como: “La superficie equipotencial del campo gravitatorio de la Tierra que mejor se ajusta, al nivel medio global del mar”. (Ayala, A. y Bardales, M. 2012)

**Geoide:** Superficie (de nivel) equipotencial que es perpendicular en todos sus puntos a la dirección de la gravedad resultante de la atracción terrestre y la fuerza

centrífuga originada por la rotación terrestre (Figura 2.17), coincide con el nivel medio del mar (NMM) en un océano abierto sin perturbaciones o su extensión hipotética por debajo de las masas continentales. El geode es la base de la altimetría.

Una de las consecuencias de esta definición es que el geode es siempre perpendicular al vector de gravedad local en cada punto.



*Figura 2.17: El Geoide*

Lejos de lo que se podría imaginar, esta superficie no es uniforme, sino que presenta una serie de irregularidades, causadas por la distinta composición mineral del interior de la tierra y de sus distintas densidades, lo que implica que para cada punto de la superficie terrestre exista una distancia distinta desde el centro de la tierra al punto del geode. (En la imagen, las zonas en color rojo son

por tanto regiones del geoide con mayor elevación y las azules son las más profundas).

Además del elipsoide y el geoide existe una tercera superficie (Figura 2.18), llamada topográfica u ondulación del geoide, esta toma en cuenta el relieve de la tierra, incluyendo montañas y valles, para conocer la altura ortométrica de cualquier punto sobre la superficie topografía, se relacionan las tres superficies mediante la siguiente expresión  $h = H + N$  (Figura 2.19).

Donde:

$h$ : es la altura de un punto con respecto al elipsoide (altura elipsoidal)

$N$ : es la altura del geoide respecto al elipsoide (ondulación del geoide)

$H$ : la altura del punto con respecto al geoide (llamada altura ortométrica).

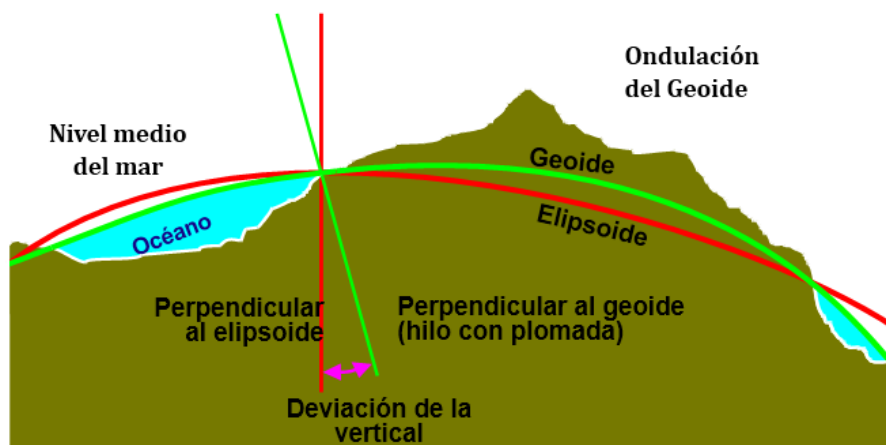


Figura 2.18: Diferentes superficies de la tierra



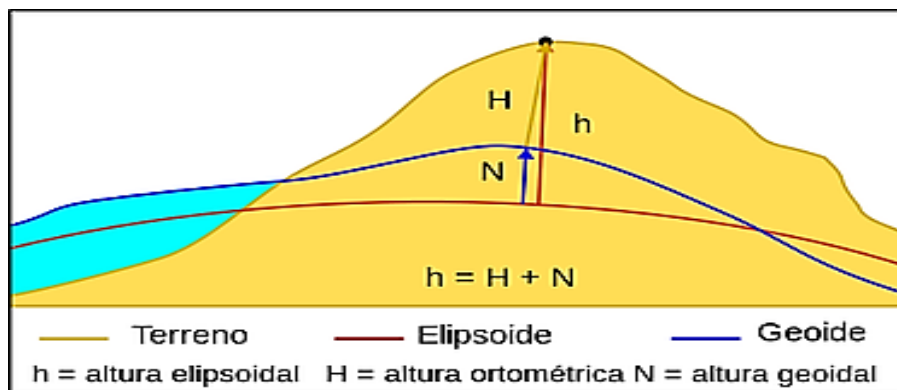


Figura 2.19: Relación entre las superficies del Elipsoide, Geoide y topografía

### Datum

Es el conjunto de cantidades matemáticas y geométricas o puntos de referencia en la superficie terrestre que sirven como base para definir un origen y situación de un sistema de coordenadas, asociado a un modelo de la forma de la Tierra.

Cada Datum está compuesto por:

- a. Un elipsoide de referencia, definido por sus parámetros  $a$ ,  $b$  y  $f$ .
- b. Un punto llamado “fundamental” en el que el elipsoide y la tierra son tangentes. Este punto fundamental se le define por sus coordenadas geográficas, además del acimut de una dirección con origen en el punto fundamental.
  - Eta: desviación en la vertical
  - Xi: desviación en el meridiano

Los Datum pueden ser globales y locales:

**Datum Global:** Un datum geodésico mundial está definido por el tamaño, forma y orientación de un elipsoide y la ubicación del centro de éste con respecto al centro de la Tierra. (Figura 2.20)

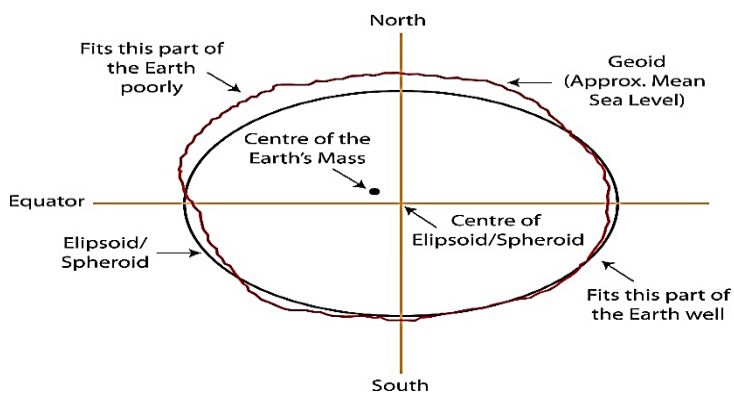


Figura 2.20: Datum global

**Datum Local:** es un punto en donde se hace coincidir el elipsoide y el geoido (Figura 2.21), o bien en donde es conocida la desviación de la vertical y la ondulación del geoido.

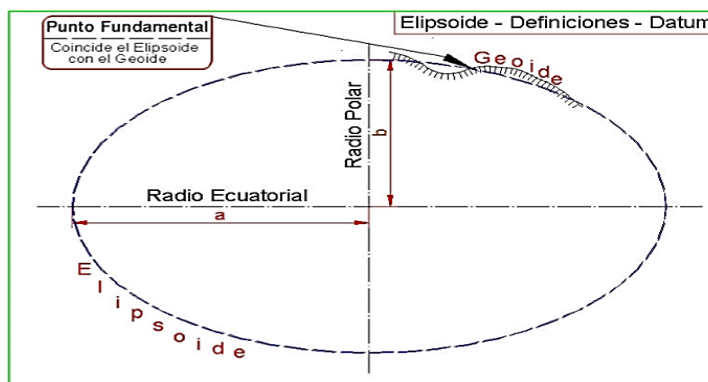


Figura 2.21: Datum local

Los Datum también se clasifican en:

**Datum Horizontal:** Utilizado como punto de partida para coordenadas planas de una región.

**Datum Vertical:** se define como la altura cero y es representado por las aguas marinas en reposo y continuadas por debajo de los continentes.

## 2.4 Sistema y marco de referencia geodésico

Con el desarrollo de las técnicas geodésicas espaciales, los datum tradicionales para posicionamientos geodésicos horizontales, que empleaban para su definición elipsoides no geocéntricos y que se definían de manera regional, han sido reemplazados por las nuevas definiciones de Sistemas de Referencia y Marcos de referencia, que son de cobertura global.

### **Sistema de Referencia:**

Un Sistema de Referencia Geodésico se puede definir como un conjunto de convenciones (constantes, modelos, parámetros, etc.), que se utilizan como base para la representación de la geometría de la superficie de la Tierra y su variación en el tiempo, sin embargo, no deja de ser un concepto o una “idea” mientras no tenga asociado un Marco de Referencia, el cual materializa el sistema a través de marcas físicas y matemáticas.

**Sistemas Geodésicos Locales:** han sido creados para satisfacer las necesidades geodésicas de una cierta región. Su centro de coordenadas no coincide con el centro de masas de la Tierra, este es el caso del NAD 27, que se refiere al elipsoide Clarke de 1866, cuyo datum se encuentra en la estación de triangulación Meades Ranch (Kansas EU). La utilización de este tipo de sistemas tiene como fin primordial la elaboración de cartografía.

**Sistemas Geocéntricos:** el Origen de coordenadas del sistema coincide con el centro de masas terrestre (Figura 2.22), dentro de esta clase se encuentran el WGS84 e ITRS.

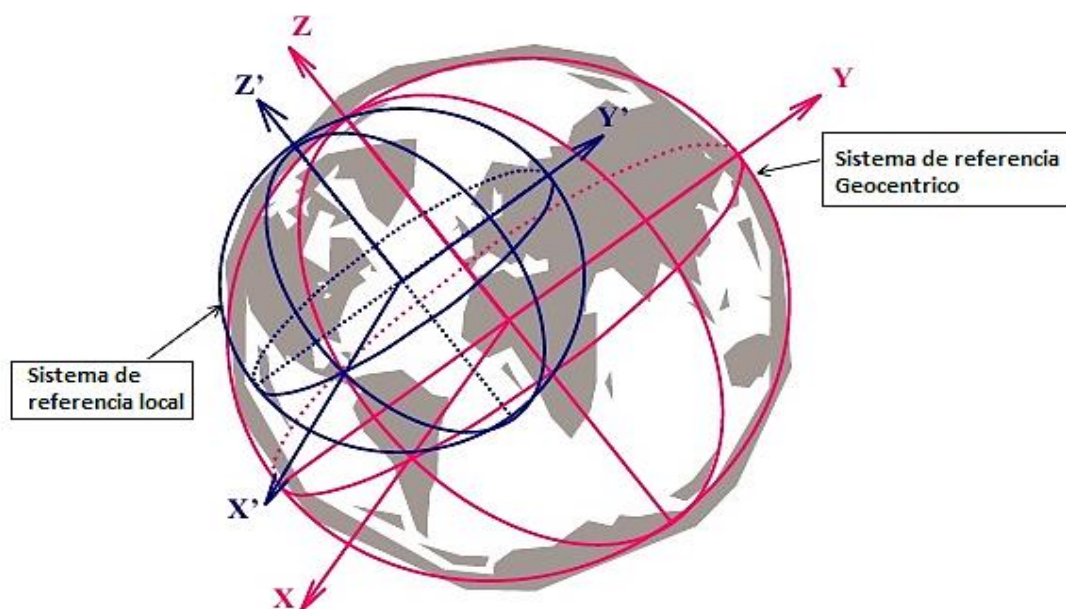


Figura 2.22: Sistemas de referencia Local y Geocéntrico

**International Terrestrial Reference System (ITRS).**

Sistema de referencia del Servicio Internacional de Rotación Terrestre y Sistemas de Referencia (IERS) establecido para la determinación del Sistemas de Referencia Celeste Internacional (ICRS) y del ITRS; así como la relación entre los dos, o sea la orientación y rotación de la Tierra en el espacio.

**World Geodetic System 1984 (WGS84).**

Sistema de referencia terrestre global que originalmente fue establecido para determinar las coordenadas de las órbitas de los satélites Doppler (WGS72). Fue adoptado para las órbitas de los satélites NAVSTAR GPS.

**Marcos de Referencia**

Son materializaciones de los sistemas de referencia, mediante puntos establecidos sobre la superficie terrestre, que son directamente accesibles para su ocupación u observación. Los ITRF (Marcos de Referencia Terrestre Internacional), que son realizaciones del ITRS (Sistema de Referencia Terrestre Internacional), se realizan mediante la estimación de las coordenadas, y sus respectivas velocidades, de un conjunto de estaciones de observación distribuidas en toda la superficie terrestre; su realización más reciente es el ITRF2008.

Un sistema de referencia no tiene aplicación práctica si no es mediante la utilización de un marco de referencia el cual, a su vez, proporciona los puntos de control que permiten mantener actualizado el sistema de referencia. En el proceso de retroalimentación existente entre estos dos aspectos, el sistema y el

marco de referencia, conforman la pareja idéntica necesaria para la definición de una plataforma de georreferenciación.

### **International Terrestrial Reference Frame (ITRF).**

Materialización del ITRS por estaciones en la superficie terrestre con coordenadas dadas para una época fija y sus variaciones en el tiempo. Sirve también para la determinación de las órbitas precisas de los satélites GPS por el Servicio GNSS Internacional (IGS).

### **Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS).**

Densificación del ITRF en América Latina y El Caribe. Las coordenadas SIRGAS están asociadas a una época específica de referencia y su variación con el tiempo es tomada en cuenta ya sea por las velocidades individuales de las estaciones SIRGAS o mediante un modelo continuo de velocidades que cubre todo el continente.

### **Marco de Referencia I.G.S.**

Otra realización del ITRS es el marco I.G.S. (Internacional GNSS Service). IGS es un organismo compuesto por más de 200 agencias de todo el mundo que comparten recursos y datos de estaciones GPS o GLONASS (GPS Ruso) permanentes con el fin de generar productos GNSS de alta precisión (órbitas de los satélites de las constelaciones GNSS, estado de los relojes de los satélites, parámetros de rotación terrestres, etc.).

Este marco está compuesto por cerca de 400 estaciones (figura 2.23), que cuentan únicamente con la técnica espacial GPS o GLONASS, es por esto que si se utilizan únicamente las observaciones de estas estaciones se puede formar un marco (el marco IGS) de referencia que será más consistente que el ITRF ya que no utiliza ni mezcla observaciones de otras técnicas espaciales, con esto no se quiere decir que sea un marco más preciso que el marco ITRF. (Furones, A. 2011)

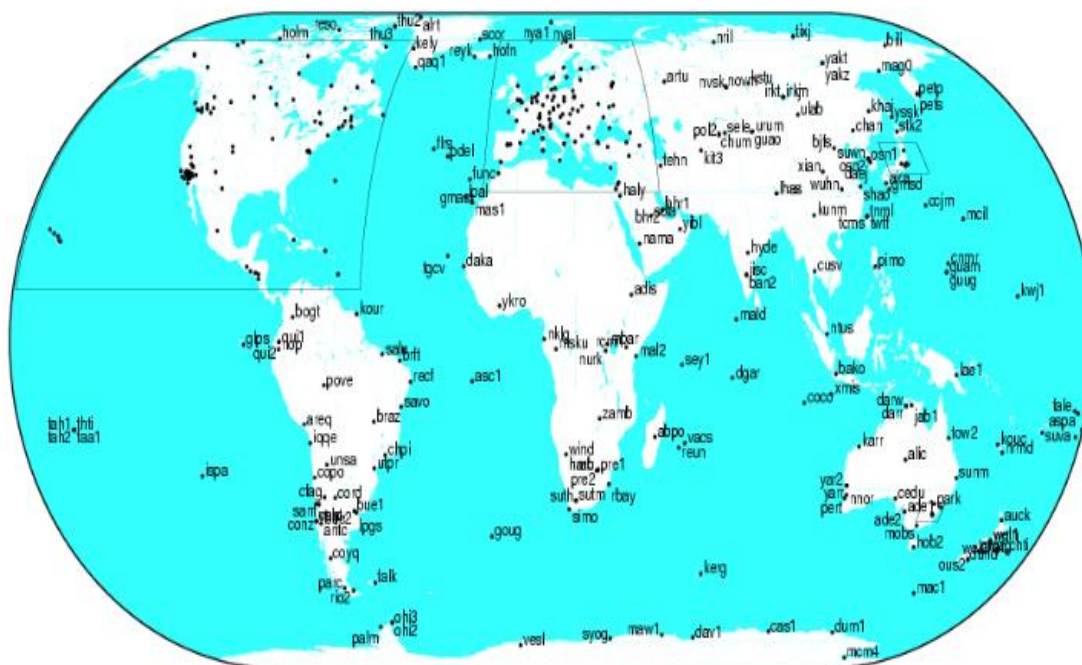


Figura 2.23: Marco de referencia IGS

El establecimiento de un marco de referencia de precisión no es tarea sencilla ya que la Tierra sufre deformaciones debido a su carácter elástico y las precisiones

de las observaciones son cada vez mayores, por lo que las observaciones deben ser corregidas por los efectos de:

- Mareas terrestres.
- Carga atmosférica y oceánica.
- Tectónica de placas
- Movimientos locales y regionales.

Por tanto, el ITRF es un marco dinámico que cambia de acuerdo a las variaciones temporales de las coordenadas y velocidades debido a los efectos anteriores.

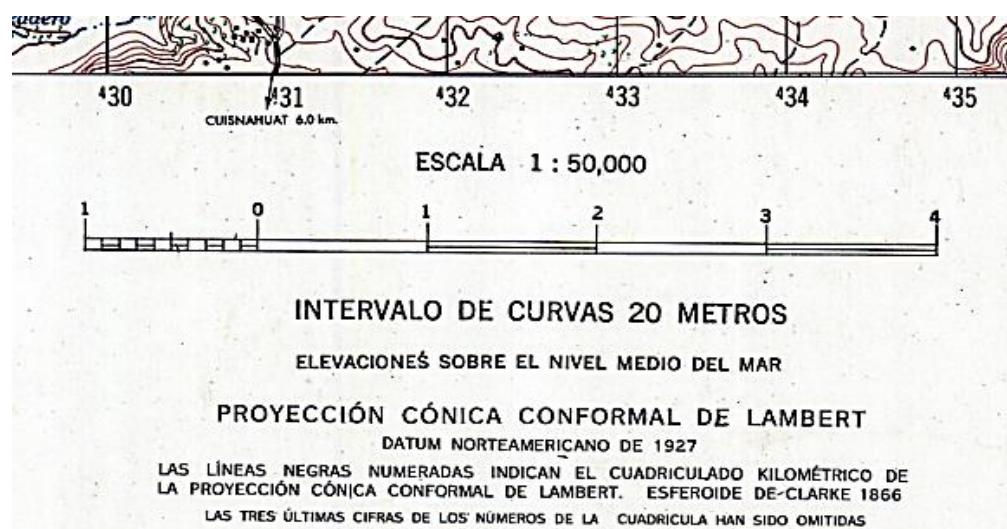
#### **2.4.1 Datum Horizontal**

Las coordenadas de un punto sobre la superficie terrestre se determinan mediante sistemas de referencia geodésicos, los cuales están conformados por elipsoides de referencia y un punto fundamental llamado Datum.

Un Datum horizontal proporciona un marco de referencia que sirve de base para colocar ubicaciones específicas en puntos específicos de la tierra. Estos sistemas de referencia geodésicos y los sistemas de proyecciones cartográficas permiten la transformación de coordenadas geográficas a coordenadas planas. Todas las coordenadas planas en la Tierra hacen referencia al datum horizontal utilizado en su transformación, como se observa en la información técnica del fragmento de mapa que se ilustra en la Figura 2.24, donde hace referencia al Datum Norte Americano de 1927.



Diversidad de Datum horizontales se han desarrollado a lo largo del tiempo, en diferentes zonas del planeta y forman parte de sistemas de referencia geodésicos locales, por ejemplo, el Datum NAD-27 (North American Datum 1927), también se han creado sistemas de referencia globales, como el Datum WGS-84 (World Geodetic System 1984).



*Figura 2.24: Fragmento de mapa con la información técnica*

Históricamente los países adoptaban el sistema de referencia geodésicos más conveniente de acuerdo a la ubicación y la disponibilidad de Datums locales, referenciados a elipsoides no geocéntricos (Figura 2.22), sin embargo, en la actualidad hay una tendencia a utilizar los sistemas geodésicos globales, como el Datum geocéntrico WGS-84, el cuál emplea el elipsoide geocéntrico WGS-84, porque contribuye a la unificación de los sistemas de referencia e incorpora la posibilidad de implementar nueva tecnología, por ejemplo, la determinación de

coordenadas geodésicas con el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), utilizando equipo GPS de doble frecuencia (Figura 2.25).

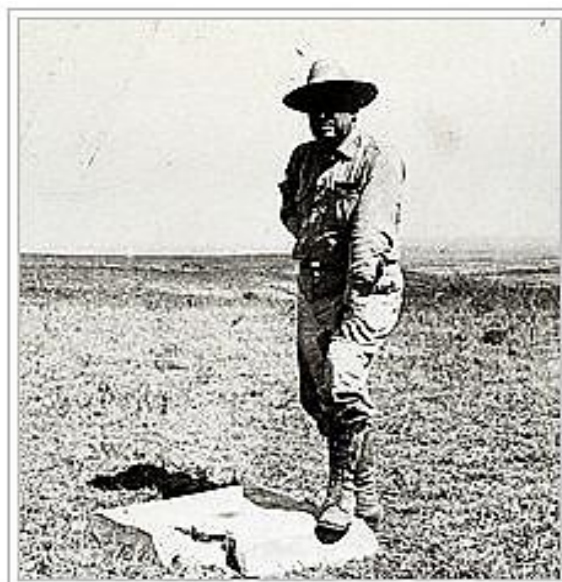


*Figura 2.25: Equipo GPS de doble Frecuencia*

#### **2.4.1.1 Datum NAD 27**

Datum de Norte América 1927 (North American Datum 1927) fue desarrollado en 1927, y su estación fundamental de triangulación o punto origen está ubicado cerca del centro geométrico de los Estados Unidos, en Meades Ranch (Kansas) (Figura 2.26), cuya ubicación se determinó mediante un estudio amplio que finalizó en el año 1901.

Para formar el Datum NAD 27 aproximadamente 26.000 estaciones de reconocimiento se establecieron en los Estados Unidos y Canadá, en cada una se determinó sus coordenadas de latitud y longitud.



*Figura 2.26: Estación de Triangulación Meades Ranch E.U.*

El término Norte América cuando se hace referencia al Datum NAD 27, indica la zona que cubre este sistema geodésico, y no se debe confundir con el área limítrofe del país de Los Estados Unidos, ya que este Datum tiene cobertura en Norte América, Centro América y Panamá. Con el desarrollo del Datum NAD 27 países como Canadá, México y Estados Unidos lo designaron como base para sus redes nacionales de triangulación. Las coordenadas de latitud y longitud de cada punto de América del Norte se basaban en su dirección, ángulo y distancia al punto fundamental ubicado en el rancho de Meades y referidas al elipsoide de referencia Clark 1866.

El Salvador adoptó en 1962 definitivamente este Datum y toda la información Geodésica y Cartográfica antigua está referida a dicho Datum.

Este Datum tiene la desventaja de ser incompatible con los sistemas modernos de posicionamiento global, por ser un sistema de referencia regional que emplea un elipsoide no geocéntrico. Además, la ampliación y densificación de la red de puntos geodésicos NAD 27 ubicada en Estados Unidos y Canadá a países como México y los de Centro América fue realizada con métodos geodésicos tradicionales por lo que presenta inconsistencias en algunas zonas.

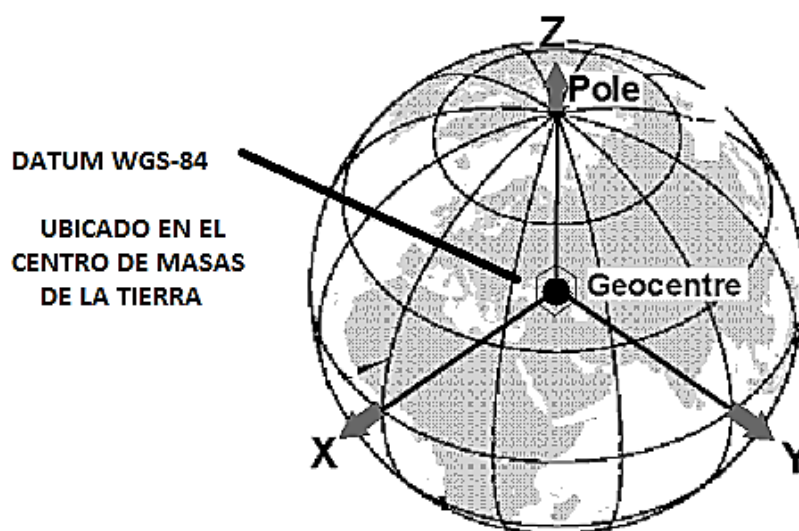
#### **2.4.1.2 Datum WGS- 1984/ITRF/SIRGAS**

##### **WGS- 1984**

Con el desarrollo de los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) y la necesidad de desarrollar un sistema de referencia geodésico global, se desarrolló un modelo unificado de Elipsoide Global y Datum global. Estos modelos se han creado debido a la mejora de las capacidades informáticas y la tecnología GPS, que por medio de ondas de radio transmitidas por los satélites, permiten mediciones extremadamente precisas de la Tierra, permitiendo desarrollar modelos globales como el Datum WGS-84 y su elipsoide de referencia WGS-84. Las siglas WGS significan World Geodetic System (Sistema Geodésico Mundial).

El Datum WGS-84 es un Datum geodésico mundial que está definido por el tamaño, forma y orientación del elipsoide WGS-84, cuyo origen es el centro de masas de la tierra.

El Datum WGS-1984 es Geocéntrico, es decir su origen es el Centro de Masa de la tierra (Figura 2.27).



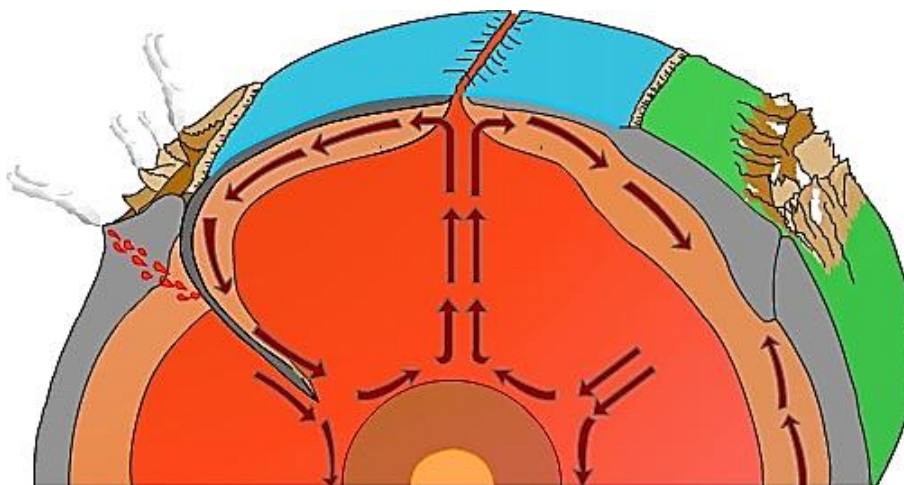
*Figura 2.27: Ubicación del Datum WGS-84*

El Sistema Geodésico Mundial (WGS84) es el sistema de coordenadas de referencia utilizado por el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), y esta es una de las principales ventajas que este sistema tiene respecto a los sistemas de referencia locales que no son compatibles con los sistemas (GPS).

## **ITRF**

El sistema de referencia geodésicos global WGS-84 es el sistema de coordenadas de referencia utilizado por el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), y permite obtener coordenadas precisas de puntos sobre la superficie terrestre. Sin embargo, es importante saber que este sistema no tiene una red de puntos materializados sobre la superficie terrestre, que permita controlar directamente la precisión de las coordenadas de dichos puntos y su variación en el tiempo.

Las coordenadas sobre la superficie de la Tierra varían en función del tiempo como consecuencia de los movimientos de las placas tectónicas (Figura 2.28) y de las deformaciones de la corteza terrestre. Dichos movimientos afectan en forma diferente las posiciones estimadas de los puntos geodésicos. A éstos se suman los movimientos abruptos causados por terremotos que cambian las coordenadas de manera esporádica y aleatoria. Como consecuencia de estos fenómenos, la posición de los vértices geodésicos de la tierra se altera continuamente. (Figueroa, Amaya y Sánchez, 2010)



*Figura 2.28: Movimiento de las placas tectónicas de la Tierra*

Un marco de referencia terrestre proporciona un conjunto de coordenadas de algunos puntos situados en la superficie de la Tierra. Estos puntos pueden utilizarse para medir la tectónica de placas, el hundimiento o carga regional y para representar la Tierra al medir su rotación en el espacio. Esta rotación se mide con respecto a un marco atado a objetos estelares, llamado marco de referencia celestial.

El Servicio Internacional de Rotación de la Tierra y Sistemas de Referencia (IERS) fue creado en 1988 para establecer y mantener un Marco Celestial de Referencia, el ICRF, un Sistema Internacional de Referencia Terrestre, ITRS, y un Marco de Referencia Terrestre, el ITRF.

El ITRS (Internacional Terrestrial Reference System) es el Sistema Internacional de Referencia Terrestre, el cuál es de referencia espacial mundial, desarrollado por el IERS, que se estableció para la determinación de los sistemas de

referencia celeste (ICRS) y terrestre (ITRS) y la relación entre los dos sistemas, o sea la orientación y rotación de la tierra en el espacio.

El ITRF (International Terrestrial Reference Frame) es el Marco Internacional de Referencia Terrestre, es decir, la materialización del sistema ITRS, mediante un conjunto de puntos ubicados en la superficie terrestre (aproximadamente 400 puntos) con sus valores de coordenadas muy precisas dadas para una época fija y sus variaciones en el tiempo (velocidades). Sirve para la determinación de las orbitas de los satélites GPS del servicio GNSS Internacional (IGS).

Hoy en día, se utilizan cuatro técnicas geodésicas principales para calcular coordenadas precisas: GPS (Sistema de Posicionamiento Global), VLBI (Interferometría de Base Muy Larga), SLR (Telemetría Láser sobre satélites artificiales) y DORIS (Sistema Francés de determinación de orbitas a partir del efecto Doppler). Dado que la red de seguimiento equipada con los instrumentos de esas técnicas está evolucionando y el período de datos disponibles aumenta con el tiempo, el ITRF se actualiza constantemente.

El marco ITRF se actualizó 11 veces a partir de 1988. El último es el ITRF2008. Todas estas realizaciones incluyen las posiciones de las estaciones de referencia y las velocidades de desplazamiento de las mismas (Figura 2.29). Modelan los cambios seculares de la corteza terrestre, por eso pueden ser utilizados para comparar observaciones de diferentes épocas. (International Terrestrial Reference Frame, 2016)



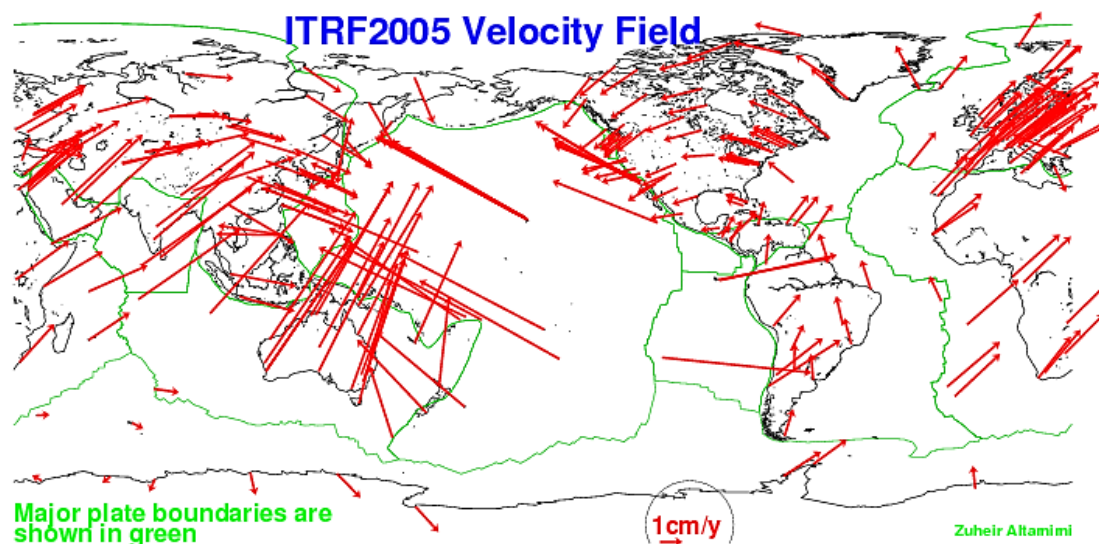


Figura 2.29: Marco de Referencia Terrestre ITRF 2005, Modelo de Velocidades.

Debido al continuo esfuerzo en perfeccionar y monitorear la estabilidad del marco WGS-84, desde enero de 2002 se adopta como realización al marco ITRF; es decir, desde esa fecha, constituyen dos marcos completamente integrados y compatibles.

### **SIRGAS**

Es el Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS), y como sistema de referencia se define idéntico al Sistema Internacional de Referencia Terrestre ITRS y su realización es la densificación regional del marco global de referencia terrestre ITRF en América Latina y El Caribe.

Las coordenadas SIRGAS están asociadas a una época específica de referencia y su variación con el tiempo es tomada en cuenta ya sea por las velocidades

individuales de las estaciones SIRGAS o mediante un modelo continuo de velocidades que cubre todo el continente.

Este sistema de referencia ha tenido diversas actualizaciones a lo largo del tiempo, desde la primera realización, el SIRGAS S95, que correspondía al ITRF94 en la época 1995 y estaba dada por una red GPS de alta precisión con 58 estaciones distribuidas sobre América del Sur. Esta red se reestructuró en el año 2000, y se extendió a los países del Caribe y de Centro y Norte América y el significado original del acrónimo SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para América del Sur) se cambió a Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas. Esta segunda realización se nombró SIRGAS S2000, y estaba formada por 184 estaciones (Figura 2.30) y correspondía al ITRF2000, de la época 2000.

La tercera realización de SIRGAS, es la red que se utiliza en la actualidad, la red SIRGAS-CON, una red de Operación Continua. Está compuesta por cerca de 400 estaciones GNSS de funcionamiento permanente, de las cuales 59 pertenecen la red global del IGS (International GNSS Service). (Sistema de Referencia Geocéntrico para la Américas, nd)

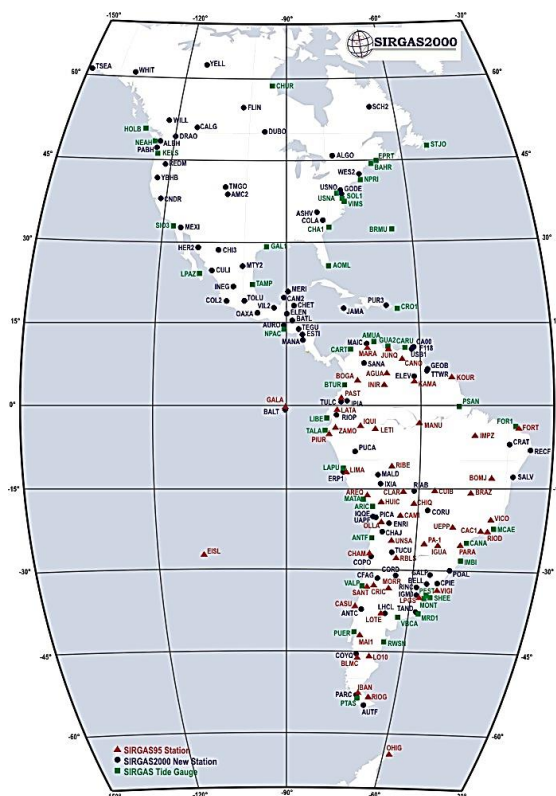


Figura 2.30: Estaciones de referencia de la red SIRGAS 2000

El marco de referencia geodésico de El Salvador está constituido por una red geodésica de referencia con 38 estaciones (Red Geodésica Básica Nacional de El Salvador) distribuidas homogéneamente sobre el país.

En el año 2007, con el objetivo de integrar el marco de referencia geodésico de El Salvador, al marco de referencia continental SIRGAS, el Instituto Geográfico y de Catastro Nacional (IGCN) de El Salvador realiza una serie de estudios y mediciones con equipos GPS diferenciales en los vértices de la Red Geodésica Básica Nacional de El Salvador; los datos obtenidos de estas mediciones fueron transferidos al Instituto Alemán de Investigaciones Geodésicas (DGFI:

Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut, Munich, Alemania) donde se realizó el preprocesamiento de estos, utilizando software avanzado. Después de estas etapas de recolección y preprocesamiento, se realizó el procesamiento final de los datos, que contempló varias etapas de compensación y ajuste de coordenadas. Al final de este proceso las coordenadas de las estaciones de referencia utilizadas para el ajuste final de la red eran los valores semanales determinados para la red SIRGAS-CON en la época media del periodo total de observación entre octubre y diciembre de 2007.

A pesar de que en el año 2007 el IGCN realizó todo el procedimiento necesario para completar los requerimientos y estándares que permitieran la integración de la red Geodésica Nacional al marco SIRGAS, fue hasta el comienzo del año 2017 que se completa la integración y a la Red Geodésica Básica Nacional de El Salvador se le nombra red SIRGAS-ES2007 (Figura 2.31), y es compatible con la más reciente red de SIRGAS, la red SIRGAS-CON, también con la última versión del Marco Internacional de Referencia Terrestre (ITRF), el ITRF 2005 y con el Sistema Geodésico Mundial WGS-84, que es idéntico al marco ITRF.

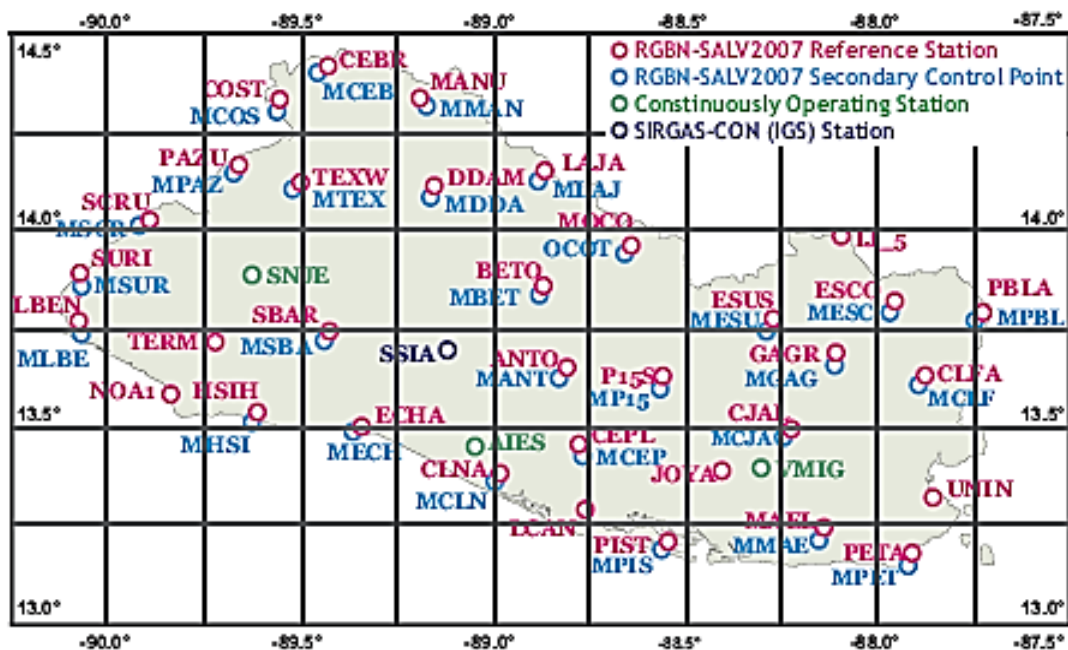


Figura 2.31: Densificación del marco de referencia SIRGAS para el Salvador

Posteriormente a la integración de la red geodésica nacional al marco SIRGAS, el IGCN realizó densificaciones departamentales, con el objetivo de llevar dicho marco de referencia a todo el territorio nacional (Figura 2.32 y 2.33).

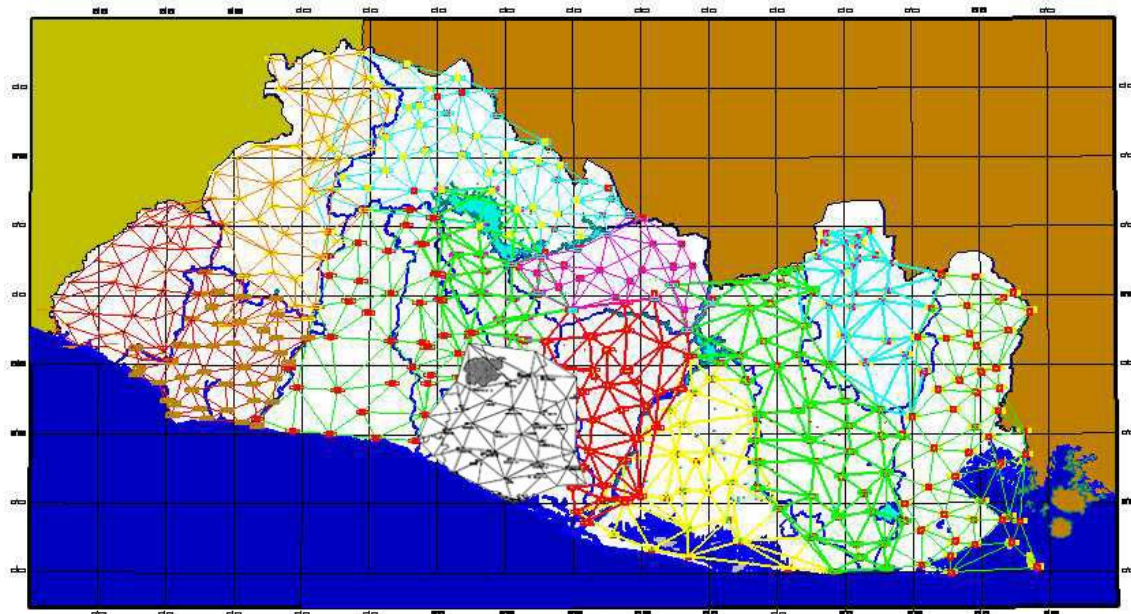


Figura 2.32: Densificaciones geodésicas departamentales ligadas a sirgas-ES2007

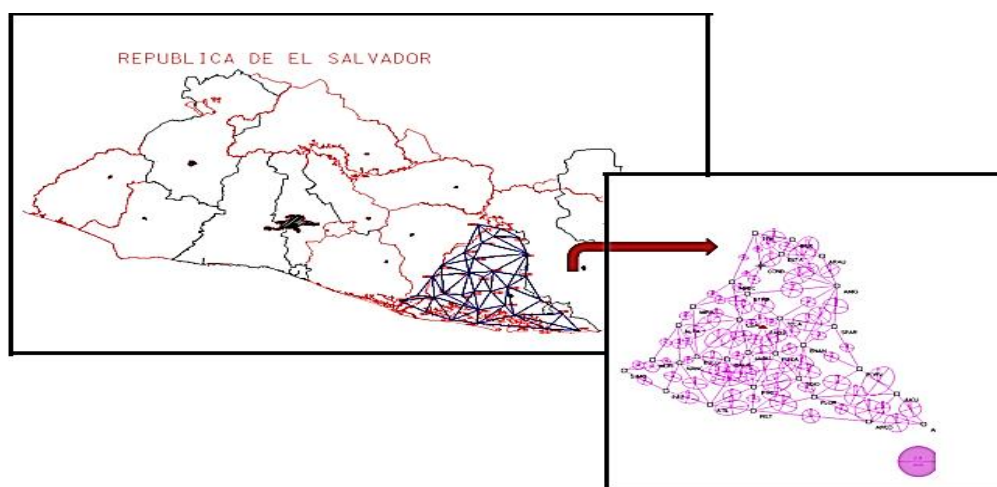


Figura 2.33: Densificaciones geodésicas: red geodésica del departamento de Usulután

## 2.4.2 Datum vertical

Retomando el concepto de Datum, que es un punto de referencia que sirve como base para definir un origen, al hablar de Datum Vertical es necesario definir que es el nivel medio del mar (NMM) la superficie de referencia que se adopta como Datum, y la altura de cada banco de nivel o banco de Marca (BM) se define como la distancia vertical entre éste y la superficie de referencia (Figura 2.34)

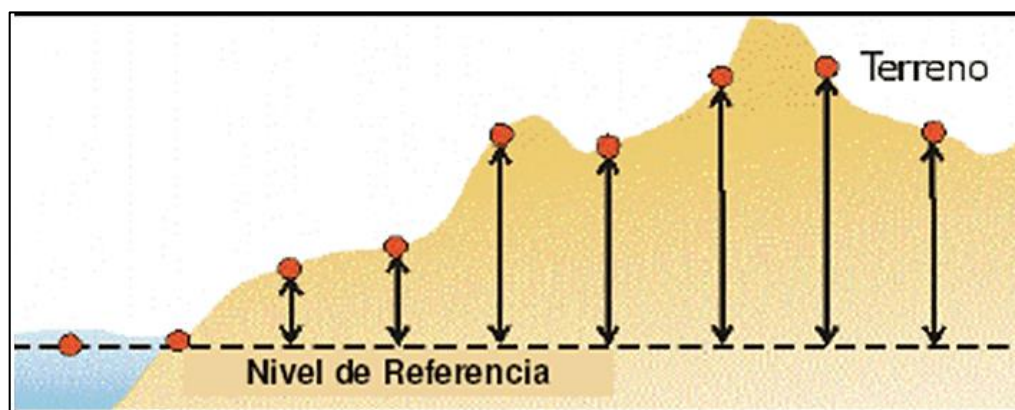


Figura 2.34: El nivel medio del mar como superficie de referencia.

Entonces se define como Datum Vertical, cualquier superficie nivelada (por ejemplo, el Nivel Medio del Mar) que se toma como superficie de referencia a partir de la cual se calculan las elevaciones. En geodesia se entiende como la superficie de referencia que permite el cálculo de alturas, por tanto, es la superficie de altura nula. Usualmente se escoge el geoide, el cual es la superficie equipotencial del campo gravitacional terrestre que mejor se aproxima al nivel medio del mar. Las alturas referidas al geoide, se llaman alturas ortométricas (H),

y son las que usualmente se encuentran representadas en las cartas topográficas. Si el geoide es reemplazado por un elipsoide, se puede definir la altura elipsoidal ( $h$ ), también llamada altura geométrica. La determinación de este nivel cero para la altimetría, conlleva una serie de mediciones y observaciones del comportamiento del mar en todo el mundo, por ende, se recolecta la información utilizando mareógrafos, logrando registrar niveles máximos y mínimos según diferentes periodos de tiempo, y a partir de estos establecer un nivel medio del mar.

#### **2.4.2.1 Modelo Geoidal Mundial EGM-96 y EGM-2008**

Al utilizar el Sistema de Navegación Global por Satélite (GNSS) para establecer coordenadas geográficas, se obtienen valores de elevación, pero elipsoidales, por ende, se utiliza el geoide para calcular alturas tomando el nivel medio del mar. Es decir que para poder compatibilizar estas alturas es necesario que se disponga de un modelo geoidal y calcular la ondulación geoidal de un punto sobre la superficie terrestre. Existen varios métodos para determinar el modelo geoidal, entre ellos se encuentran los Modelos Geopotenciales, Modelos Gravimétricos, y los Modelos Geométricos.

En particular el modelo Geoidal EGM-96 y EGM-08 son globales y sus siglas significan Modelo Geopotencial Mundial, uno establecido en 1996 y el otro en el



año 2008, y se refieren a la variación de la energía potencial gravitatoria en las regiones de la Tierra.

Los modelos geopotenciales globales vienen dados por  $(C_{nm}, S_{nm})$ . Para la obtención de estos valores se utilizan los siguientes datos:

- Datos obtenidos mediante satélites.
- Datos gravimétricos terrestres
- Datos de altimetría por satélite.

Combinando estos datos se obtiene una mejor solución que utilizando solo uno de ellos. Esta solución depende de la precisión de las medidas que nos proporcionan los satélites y la disponibilidad de datos gravimétricos.

A partir de estos datos se aplicaría la siguiente ecuación para la determinación de la ondulación del geoide:

$$N(\theta, \lambda) = \frac{GM}{r\gamma} \sum_{n=2}^N \left(\frac{a}{r}\right)^n \sum_{m=0}^n [C_{nm} \cos m\lambda + S_{nm} \sin m\lambda] P_{nm}(\sin \theta)$$

Donde:

a: semieje mayor del elipsoide.

r: distancia del centro del elipsoide al punto.

M: la masa terrestre localizada en el interior del elipsoide.

G: la constante de gravitación universal.

$\gamma$ : la gravedad normal en el punto.

$P_{nm}$ : funciones de Legendre.

$C_{nm}$  y  $S_{nm}$ : constantes de Stokes. (Coeficientes armónicos)

$\theta, \lambda$ : Colatitud geocéntrica y longitud en el punto.

## **EGM96**

Este modelo fue desarrollado mediante la colaboración de distintos centros de investigación, fundamentalmente al Laboratory for Terrestrial Physics - NASA Goddard Space Flight Center y la National Imagery and Mapping Agency, aunque también han colaborado la Hughes-STX Corporation, Ohio State University y The University of Texas at Austin.

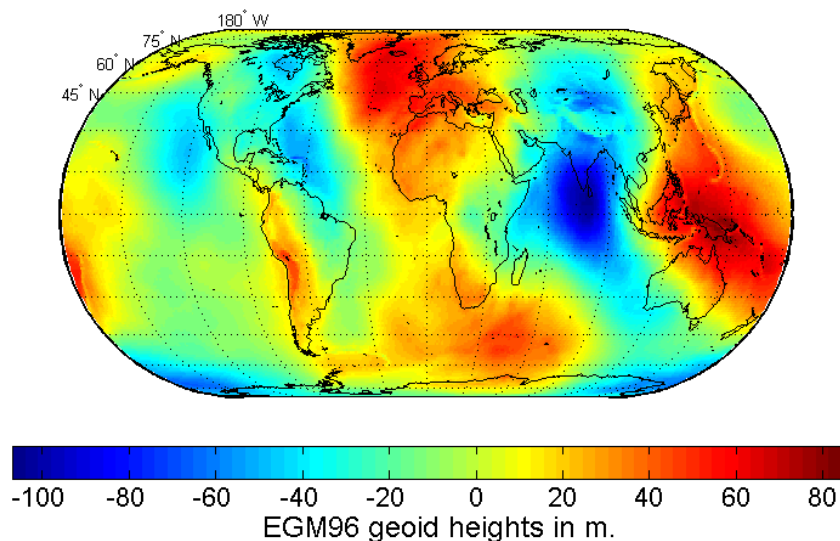
Se han utilizado para su elaboración gran cantidad de datos de gravedad, incluso de zonas en donde antes no se disponían (zonas del océano Ártico, Groenlandia y la Antártida), observaciones láser a satélites (TOPEX/POSEIDON, Stella, etc.), observaciones Doppler a satélites (SEASAT, RADCAL, etc.), altimetría de satélite, observaciones GPS, observaciones TDRSS, observaciones SST Doppler, etc.

Ha sido desarrollado para ser utilizado, principalmente, como referencia geodésica, determinación de órbitas de satélites más precisas, con fines oceanográficos y para estudios geofísicos.

“Las calibraciones realizadas sobre el error cometido en la determinación de este geoide/modelo geopotencial, proporcionan errores medios cuadráticos, por ejemplo, en áreas continentales de 28 cm, considerando toda la superficie terrestre aproximadamente 18 cm y en áreas oceánicas 12 cm. Se ha de notar que estos errores son entre dos y tres veces inferiores a los que se estimaron

para anteriores geoides de precisión, como, por ejemplo, los JGM-1, 2 y 3 (Joint Gravity Model).” (Álvarez, J. y Rivas, M. 2011)

El EGM-96 es uno de los modelos geopotencial más utilizado en los pasados años. Este proyecto fue ventajoso e innovador por el hecho de haber utilizado nuevo conjunto de datos sobre el valor de la gravedad en muchas regiones de la tierra, obteniendo como resultado este Modelo Geoidal Mundial (Figura 2.35)



*Figura 2.35: Representación del Modelo Geoidal Mundial EGM-96.*

## **EGM-08**

Los modelos geopotenciales como el EGM-96 eran considerados faltos de una precisión necesaria, lo que motivaba a muchos países a desarrollar sus propios modelos regionales con sus recursos. Ante esta situación era necesario la creación de un modelo Global que cumpliera con las expectativas de todos,

similar al hecho que el WGS-84 sustituyera todos aquellos sistemas locales para referenciación, se creó un modelo Geoidal mundial capaz de proporcionar una mejor precisión para obtener alturas ortométricas en cualquier punto del planeta.

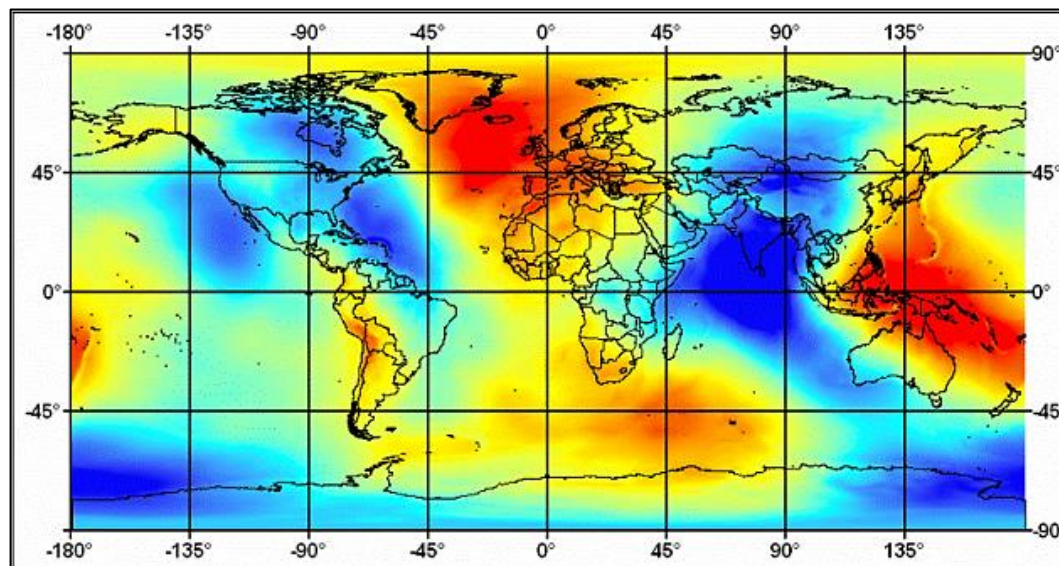
“Este modelo ha sido desarrollado por la Agencia Nacional de Inteligencia Geoespacial de los EE. UU. Esto supuso un gran logro para la cartografía mundial, en el campo de la gravedad. Por primera vez en la historia geodésica moderna, se determina un modelo armónico esférico completo, ya que permite la recuperación de valores de la gravedad en todo el globo, y contribuye de una manera más exitosa a los constantes esfuerzos de la comunidad geodésica por conseguir un modelo de campo gravitatorio de mayor resolución y precisión.

Este modelo ha sido evaluado por el IAG (International Association of Geodesy) y el IGFS (International Gravity Field Service) en un área de Grecia a través de mediciones GPS y nivelaciones a lo largo de una línea base de 30 Km. Los resultados obtenidos muestran que el modelo de geoide se adapta con una desviación típica de entre 3 y 5 cm/Km, mejorando los 9 cm/Km del EGM96.”

(Álvarez, J. y Rivas, M. 2011)

EGM2008 es el modelo a escala mundial más completo y preciso obtenido hasta el momento (Figura 2.36). Un test con datos GPS/nivelación de más de 12.000 puntos a nivel global ha demostrado que la precisión de EGM2008 en desviación estándar se encuentra en el orden del decímetro y mucho mejor en precisión

relativa, mejorando con mucho los modelos globales que había hasta el momento.



*Figura 2.36: Modelo Geoidal Mundial EGM-2008*

En resumen, si se cuentan con estos modelos que proporcionan valores de ondulación del geoide con una gran precisión, podrían determinarse altitudes ortométricas con las mejores precisiones, como lo requieren en su mayoría los trabajos que realizan las Instituciones cartográficas y la Ingeniería Civil.

#### **2.4.2.2 Modelo Geoidal Local.**

Son modelos de alta resolución, utilizados en áreas pequeñas por lo que hay gran densidad de datos, comprenden las longitudes de onda corta del campo de gravedad terrestre.

Así pues, disponer de una superficie equipotencial de referencia como datum altimétrico preciso o geoide local es de gran importancia por cuanto ello nos permitiría determinar las altitudes ortométricas de forma eficiente a partir de las elevaciones elipsoidales proporcionadas por el Sistema Global de Navegación por Satélite (Global Navigation Satellite System, GNSS). Si bien esto es cierto para cualquier país tanto más lo es para aquellas regiones que carecen de una red de nivelación, como es el caso de algunas zonas en el Caribe.

Cabe señalar que la determinación del geoide local es una tarea fundamental en la actualidad considerando el hecho de que los Sistemas Globales de Posicionamiento (GPS) pueden servir de base para calcular alturas ortométricas una vez conocida la ondulación del geoide. Así mismo, las mediciones con GPS siempre serán más convenientes que las mediciones clásicas de nivelación geométrica y trigonométrica. De tal manera que se recomienda tomar ventaja de las mediciones satelitales cuando se pretenda obtener un modelo de geoide local (al centímetro). Comúnmente en la literatura se pueden encontrar diferentes métodos para la determinación del geoide, donde el método de Condensación de Helmert da precisiones del orden del centímetro.

Se cuenta con un geoide local o regional cuando es posible recolectar valores de gravedad en una determinada área relativamente pequeña, determinando la verdadera forma de la tierra en esa dicha porción del mundo.

En nuestro país, “para lograr obtener valores de elevación ortométrica con precisión centimétrica, el Instituto Geográfico Nacional, ha desarrollado un modelo geoidal del país en Base a la Red Geodésica Básica Nacional SIRGAS-ES2007.

Establecida dicha red y tomando como referencia la Red Nacional de Niveles, se les dio elevación a todos y cada uno de los vértices geodésicos de la red SIRGAS-ES2007.

Posteriormente y mediante la utilización de un modelo escalado del EGM2008 (Earth Geopotencial Model), y el método de diferencias finitas para superficies de mínima curvatura, se generó una superficie correctora que sumada a la del geoide base EGM2008 dio origen al modelo de geoide escalado definitivo.” (Guandique, López y Martínez, 2014). (Figura 2.37).

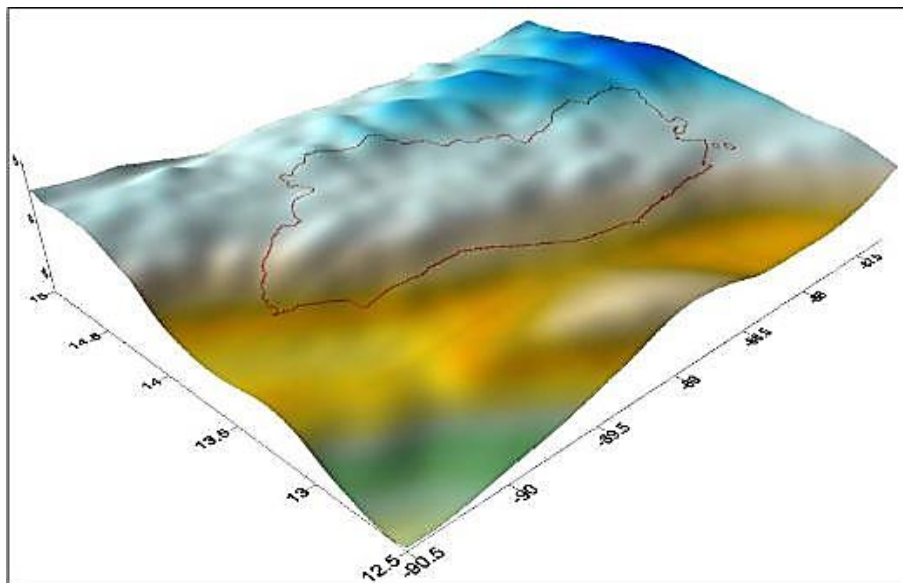


Figura 2.37: Representación 3D del geoide de El Salvador



## CAPITULO III

### COORDENADAS GEOGRAFICAS Y SISTEMAS DE PROYECCIÓN

#### 3.1 Paralelos y meridianos

“Uno de los problemas a resolver para elaborar mapas, es acordar un sistema para definir, de forma universalmente comprensible, la posición de un punto situado en algún lugar de la Tierra. Para ello, se han trazado una serie de líneas imaginarias sobre el globo terrestre, denominadas meridianos y paralelos”.(Andrés, P. y Rodríguez, R. 2008.)

**Meridianos:** También llamados líneas de longitud, son arcos de 180 grados en dirección N-S (Figura 3.1). Todos los meridianos tienen la misma longitud, están muy próximos entre sí junto a los polos y se distancian al máximo en el punto en que interceptan el ecuador. Hay 360 meridianos, numerados desde el 0 hasta el 180, en dirección E o W (180 en cada una de las dos direcciones), partiendo del meridiano que pasa por Greenwich y que se considera actualmente el meridiano origen.

**Paralelos:** Llamados también líneas de latitud, son círculos completos, paralelos entre sí (Figura 3.2), que cruzan perpendicularmente la red de meridianos. El ecuador, que intercepta a los meridianos por la mitad de su recorrido, es el paralelo más largo y los demás se van haciendo cada vez más cortos conforme nos acercamos a los polos. A diferencia de los meridianos, los paralelos son siempre equidistantes entre sí. Están numerados desde 0 en el ecuador hasta 90

en los polos, en dirección N o S. Con este reticulado, es posible dar la posición de un punto concreto en el globo terrestre, gracias a las denominadas coordenadas geográficas (Figura 3.3), que son dos valores que hacen referencia a la longitud y a la latitud respectivamente y se expresan en grados(<sup>o</sup>), minutos (') y segundos ("), siendo divisible cada grado en 60 minutos y cada minuto en 60 segundos.



*Figura 3.1: Meridianos*

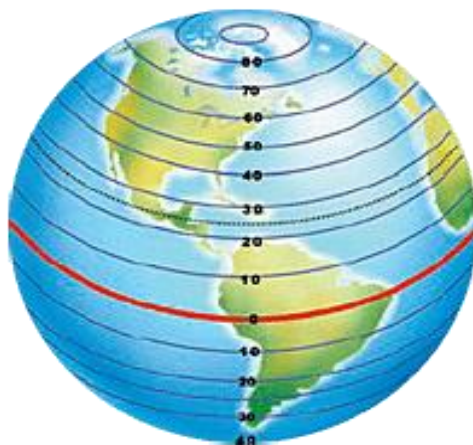


Figura 3.2: Paralelos

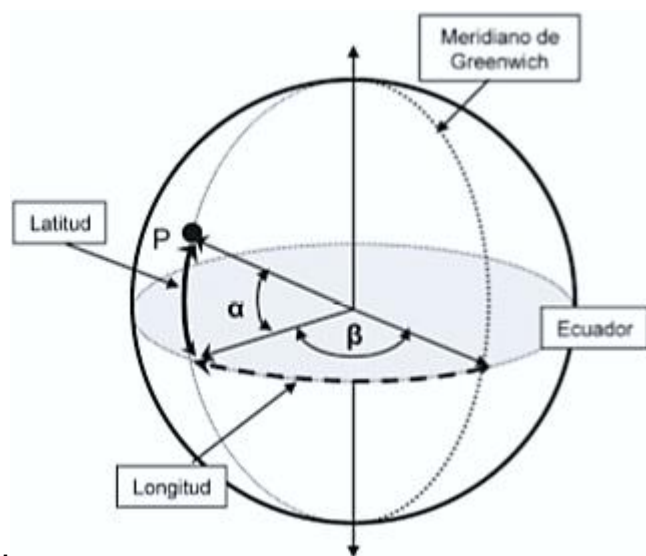


Figura 3.3: Coordenadas geográficas de un punto "P"

La longitud de un punto es la medida del segmento de paralelo comprendido entre el punto considerado y el meridiano 0, hacia el E o el W. Por lo tanto, tendrá valores comprendidos entre los 0 y los 180 grados, positivos si se encuentra hacia

su E, o negativos si está hacia su W. Todos los puntos situados sobre el mismo meridiano tienen la misma longitud.

La latitud de un punto es la medida del segmento de meridiano comprendido entre ese punto y el ecuador. Tiene valores comprendidos entre los 0 y los 90 grados, hacia el norte o hacia el sur. Todos los puntos situados sobre el mismo paralelo tienen la misma latitud.

### 3.2 Proyecciones cartográficas

La transformación de un espacio tridimensional en uno bidimensional es lo que se conoce como “proyección” (Figura 3.4). Las fórmulas de proyección son expresiones matemáticas que se utilizan para convertir los datos de posiciones geográficas (latitud y longitud) sobre una esfera o esferoide en posiciones sobre un plano (X, Y). Este proceso distorsiona al menos una de las siguientes propiedades: forma, distancia, superficie o dirección.



*Figura 3.4: Proyección de la tierra a un plano*

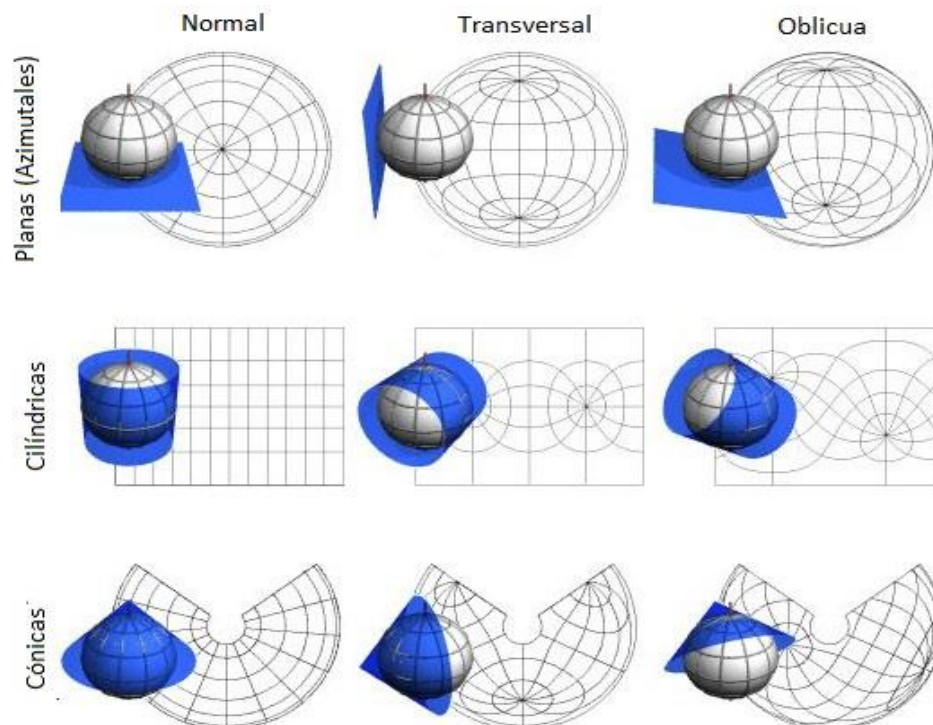
El proceso de proyección conlleva distorsiones de la superficie original en tres dimensiones, al convertirse a una superficie plana de dos dimensiones. Las distorsiones ocurren con respecto a: forma, distancia, dirección y área.

Existen diversos tipos de proyecciones y se usarán cada una de ellas dependiendo de los siguientes factores:

- La finalidad y aplicación que se dará al mapa
- Del área a cartografiar
- De la forma del territorio
- De las condiciones de las deformaciones

La mayoría de los sistemas de proyección pueden ser clasificados de acuerdo con el tipo de superficie de proyección a utilizar: cónica, cilíndrica y plana.

Las proyecciones cartográficas principales son: planas cilíndricas y cónicas (Figura 3.5).



*Figura 3.5: Proyecciones Cartográficas principales.*

### **Proyecciones planas o acimutales.**

Se obtienen proyectando la superficie terrestre desde un punto llamado vértice de proyección, sobre un plano tangente a un punto de la Tierra llamado centro de proyección. La proyección mantiene sus propiedades geométricas alrededor del centro de proyección y las distorsiones aumentan conforme nos alejamos de dicho punto (Figura 3.6).

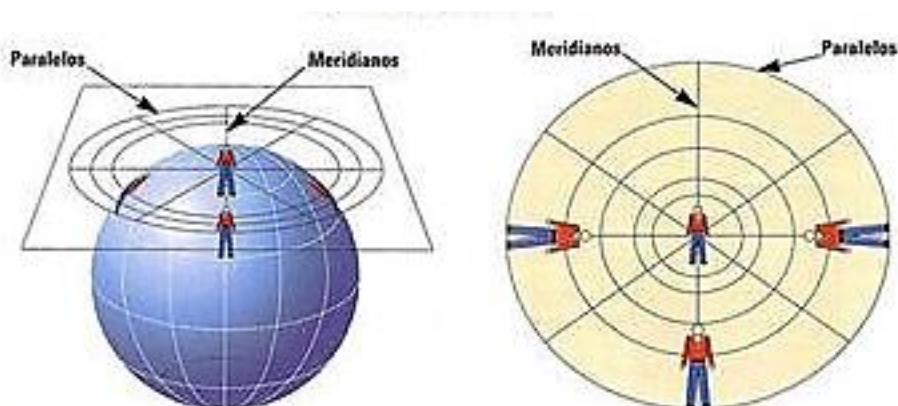


Figura 3.6: Distorsiones en proyecciones planas.

El punto de contacto puede ser el Polo Norte, el Polo Sur, un punto sobre el Ecuador, o algún punto intermedio. Este punto determina el foco de proyección que definirán la orientación y las funciones a utilizar. El foco se identifica por una longitud y latitudes centrales, y las orientaciones posibles son: polar, ecuatorial y oblicuo (Figura 3.7).

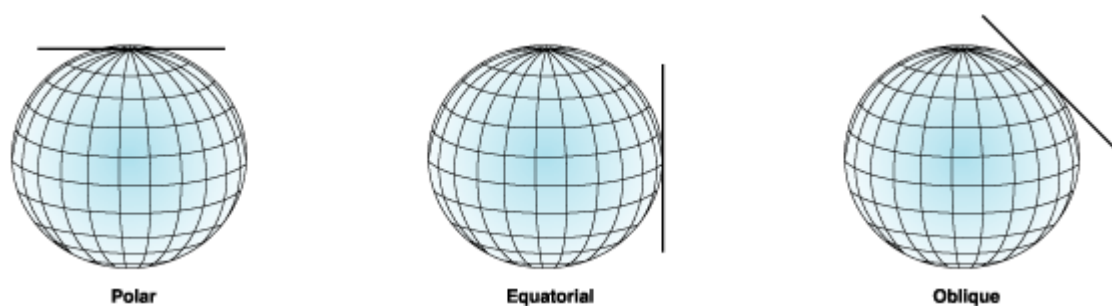
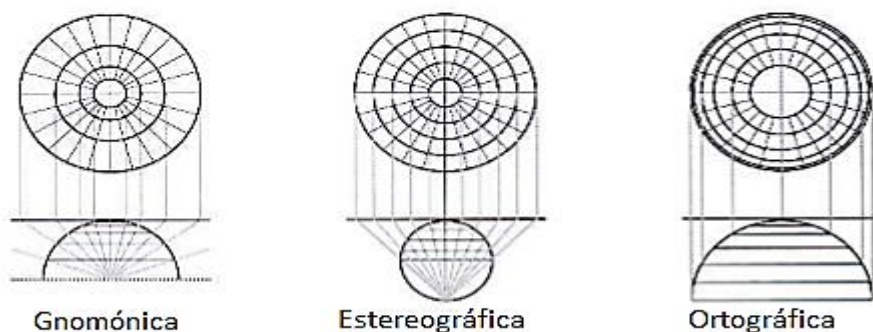


Figura 3.7: Orientaciones de proyecciones planas.

Los patrones de distorsión de área y de forma son de tipo circular cerca del foco. Por esta razón, las proyecciones acimutales se acomodan mejor para la

representación de regiones polares. Las proyecciones planas son de uso frecuente en la cartografía de las regiones cercanas a los polos.

Las proyecciones acimutales son diferenciables entre ellas, en parte a la utilización de diferentes focos, y en algunos casos por el punto de perspectiva. La Figura 3.8 compara tres tipos de proyecciones con orientación polar, pero con diferentes puntos de perspectiva. La Proyección Gnomónica, proyecta la información desde el centro de la tierra. La Proyección Estereográfica, proyecta la información desde un Polo hacia su opuesto. Por último, la proyección Ortográfica, proyecta la información desde un punto ubicado a una distancia infinita en el espacio. Observe como el tipo de punto de perspectiva determina la cantidad de distorsión alrededor del Ecuador.



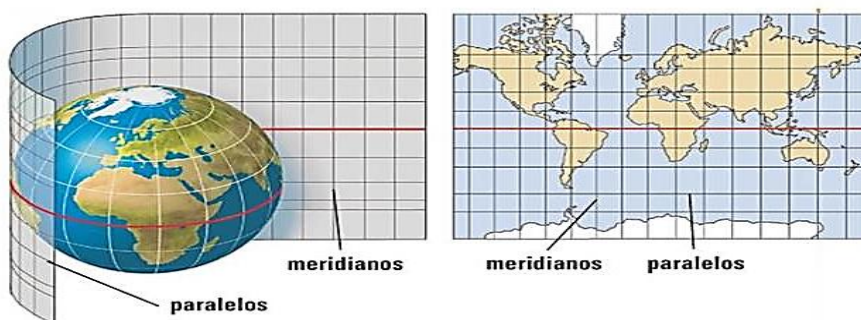
*Figura 3.8: proyecciones planas con diferente punto de perspectiva.*



### Proyecciones cilíndricas.

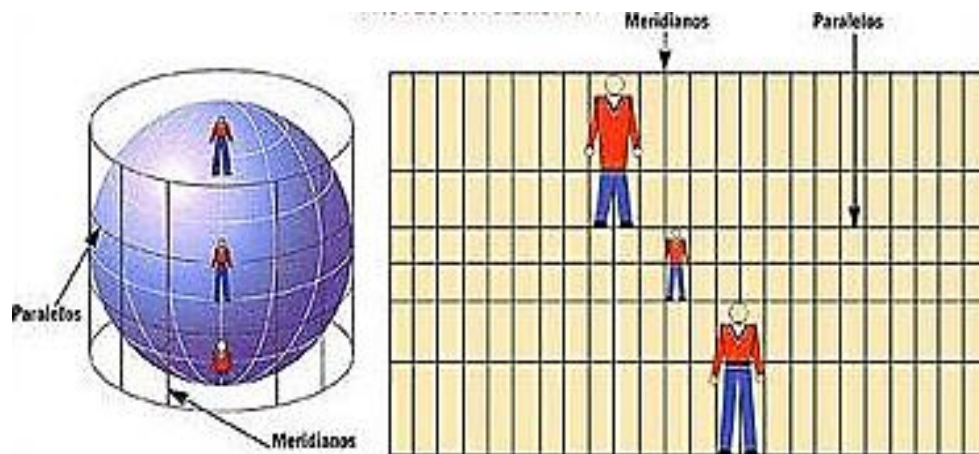
Utilizan el cilindro como figura de proyección, tangente o secante a la esfera. El eje del cilindro coincide con la línea de los polos, estableciendo análogamente entre los puntos de la esfera y el cilindro una correspondencia biunívoca.

Al desarrollar el cilindro, se obtiene una representación en la que los meridianos estarán representados por rectas paralelas equidistantes y los paralelos por rectas perpendiculares a las anteriores que se van espaciando a medida que aumenta la latitud (Figura 3.9).



*Figura 3.9: Proyección cilíndrica*

La proyección cilíndrica más famosa es la Proyección de Mercator que revolucionó la Cartografía, en ella se proyecta el globo terrestre sobre un cilindro. Es una de las más utilizadas aun cuando por lo general en forma modificada, debido a las grandes distorsiones en las zonas de latitud elevada (Figura 3.10), cosa que impide apreciar en sus verdaderas proporciones a las regiones polares.



*Figura 3.10: Distorsiones en proyecciones cilíndricas*

Las proyecciones cilíndricas también pueden ser: normales, transversales y oblicuas, como se vio en la Figura 3.5.

### **Proyecciones Cónicas**

En este tipo, el centro de proyección es el centro de la Tierra, pero el plano de proyección es ahora la superficie interna de un cono tangente a la esfera, como si se introdujera una pelota dentro de un vaso cónico de papel. El caso más simple es el de un cono tangente a lo largo de un cierto paralelo de referencia.

Después de proyectar, se corta el cono a lo largo de una generatriz y se desarrolla, obteniéndose el patrón indicado en la Figura 3.11, en donde los meridianos son líneas rectas convergentes uniformemente espaciadas y los paralelos son círculos concéntricos alrededor del vértice del cono, con un espaciamiento variable que aumenta a medida que se avanza (en este caso) hacia las latitudes menores.

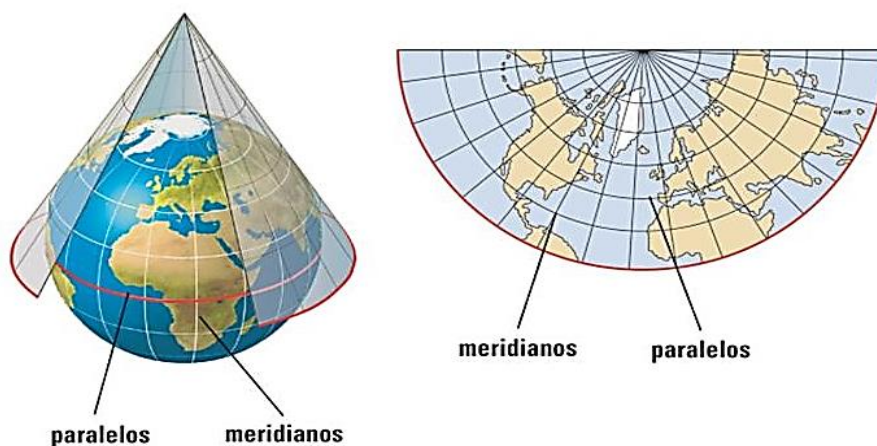


Figura 3.11: Proyecciones cónicas

En general, las distorsiones aumentan al norte y al sur del paralelo de tangencia, (Figura 3.12).

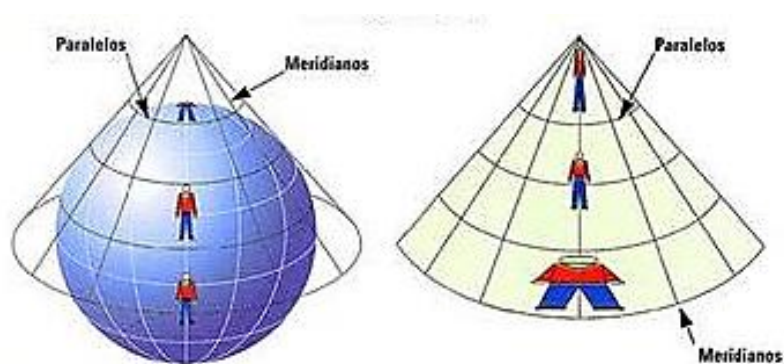
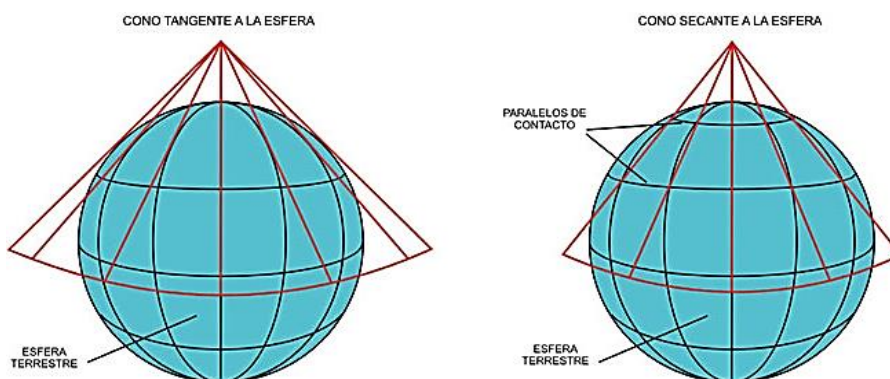


Figura 3.12: Distorsiones en proyecciones cónicas

Las proyecciones cónicas pueden ser: tangentes y secantes (Figura 3.13).

**Cónica tangente:** La proyección cónica más simple es aquella en que el plano cónico es tangente al globo a lo largo de una línea de latitud. En una proyección dada esta línea es llamada paralelo estándar. Los meridianos se proyectan en la superficie y se unen en el ápice.

**Cónica secante:** Dos líneas de contacto para la superficie cónica. Estas proyecciones son llamadas secantes cónicas y están definidas para dos paralelos estándar.



*Figura 3.13: Proyecciones cónicas secantes y tangentes*

La proyección cónica más famosa es la Proyección Cónica Conforme de Lambert, que es una proyección secante con dos paralelos de referencia a lo largo de los cuales la escala es correcta.

### 3.2.1 Proyección universal transversal de Mercator (UTM).

El sistema de Mercator es actualmente la base de la mayoría de la cartografía disponible para las regiones de la Tierra comprendidas entre los 84° N y los 80°

S. En este sistema, la posición de cualquier punto puede ser referenciada en base al sistema de coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator System). Las coordenadas UTM pueden ser transformadas a coordenadas geográficas, de manera que un punto puede ser localizado por cualquiera de los dos sistemas.

Las coordenadas UTM son un sistema de referencia cartográfico basado en la proyección de Mercator. El sistema UTM es una construcción totalmente artificial. El mapa correspondiente a este sistema divide el globo terrestre en 60 Zonas o Husos de longitud (Figura 3.14). Cada zona se extiende desde el paralelo  $84^{\circ}$  N hasta el  $80^{\circ}$  S y tiene como límites laterales dos meridianos que distan entre sí un arco de 6 grados. Las zonas están numeradas comenzando por la Zona 1 (que comprende el huso localizado entre los 180 y los 174 grados, con referencia en Greenwich), y su numeración progresa en dirección W-E. (Andrés, P. y Rodríguez, R. 2008.)

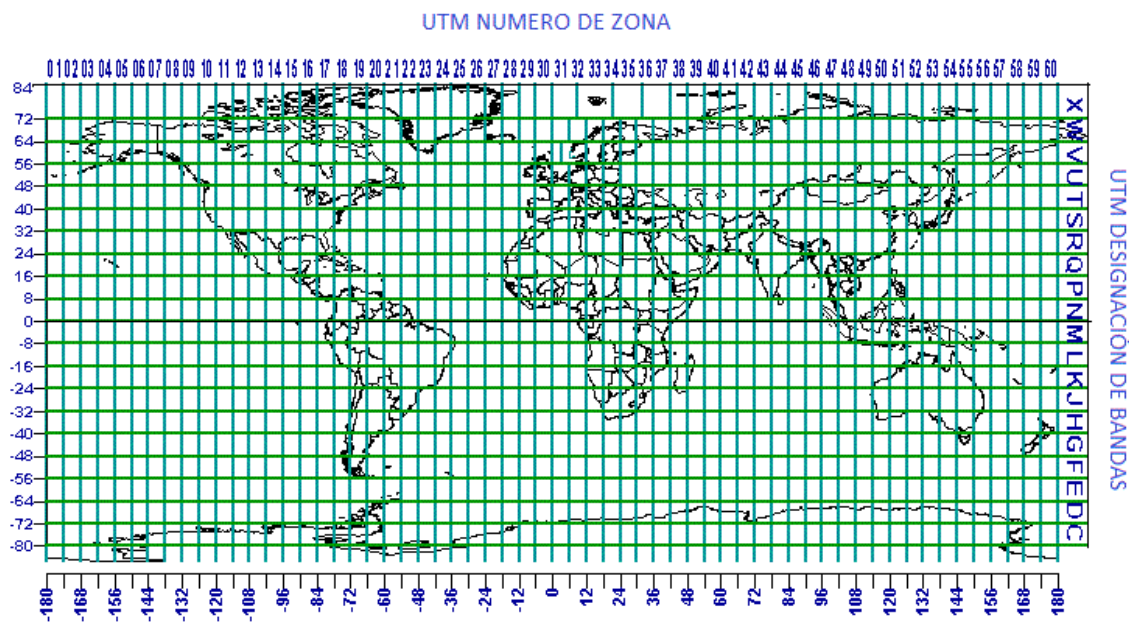


Figura 3.14: Sistema Universal Transversal de Mercator (UTM)

En la Figura 3.14 se observa también una red de Bandas de latitud, perpendiculares a las zonas e identificadas por letras ordenadas desde la A (en el Polo Sur) hasta la Z (en el Polo Norte). Como ya se ha dicho, la proyección más adecuada para las zonas polares es la estereográfica polar, de manera que las zonas A, B o C no aparecen representadas en el mapa. No existen las letras O, I, LL, CH ni Ñ. Las bandas C a M están en el hemisferio sur y las bandas N a X en el hemisferio norte. A diferencia de las zonas de longitud, que tienen todas las mismas anchuras, las bandas de latitud son de dimensión variable, las bandas centrales tienen una altura de 8 grados cada una, mientras que la X mide 12 grados.

Para cada Zona o huso, la anchura máxima se encuentra en el ecuador y es de aproximadamente 668 Km ( $6^\circ \times 111 \text{ km/grado}$ ). La línea central de cada zona coincide con un meridiano del sistema geodésico tradicional, que se denomina Meridiano Central (Figura 3.15). El origen de coordenadas UTM en cada zona es el punto de intersección entre su meridiano central y el ecuador. Este origen de coordenadas recibe un valor de longitud de 500 km Este. Para la latitud, el valor asignado al origen de coordenadas es de 0 km en el hemisferio norte y de 10,000 km en el hemisferio sur. Conforme nos desplazamos desde el ecuador hacia el norte, los valores de latitud aumentan (de 0 a 10 000 km.), mientras que cuando nos desplazamos desde el ecuador hacia el sur, los valores de latitud disminuyen (de 10 000 a 0 km).

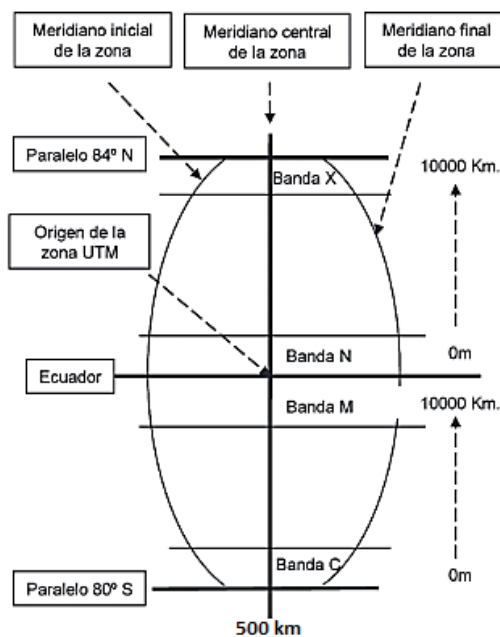


Figura 3.15: Configuración de una zona UTM

### **3.2.2 Proyección UTM WGS-84**

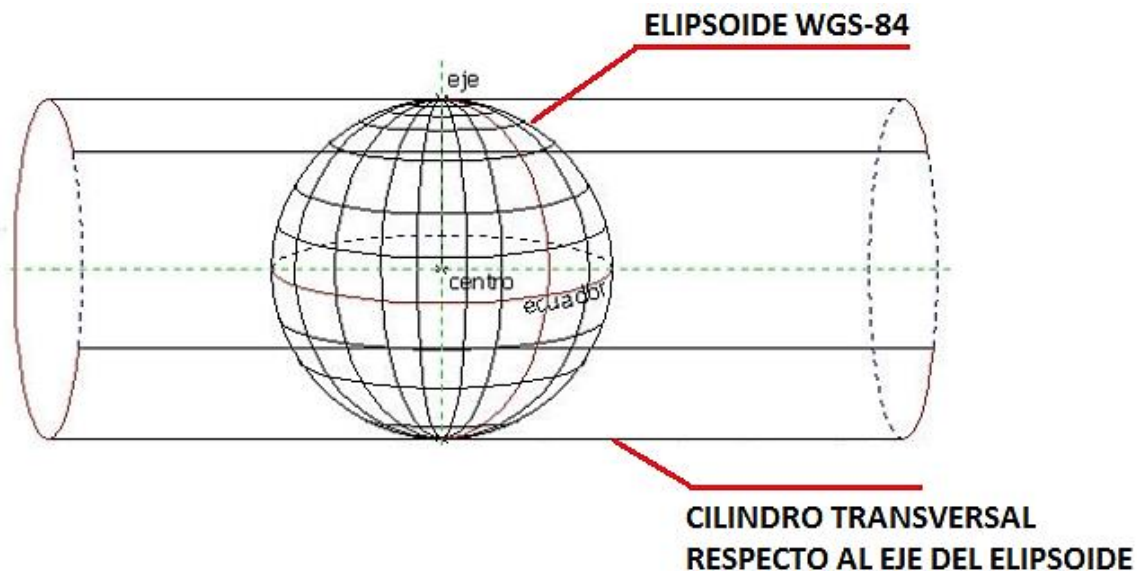
El sistema de coordenadas UTM fue desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, y el Servicio de Defensa de Estados Unidos lo estandariza para su empleo mundial en la década de 1940.

El sistema se basó en un modelo elipsoidal de la Tierra. Para esto inicialmente se usó el elipsoide Clarke 1866 como modelo de base de proyecciones UTM en 48 estados del país Norte Americano. En la actualidad se utiliza el elipsoide WGS-84 como modelo de base de proyecciones UTM, por lo que este sistema es totalmente compatible con el Sistema de Posicionamiento Global GPS.

Este sistema se basa en la proyección del Elipsoide WGS-84 a un sistema cilíndrico (Figura 3.16). Este cilindro es tangente en un meridiano origen (meridiano central) y los puntos del elipsoide se proyectan sobre dicho cilindro, de forma que, al desarrollar el cilindro, el Ecuador se transforma en una recta que se toma como eje X, y el meridiano central se transforma en otra recta perpendicular a la anterior que será el eje Y.

El resultado de este sistema de proyección es una cuadrícula que permite referenciar puntos sobre la superficie terrestre. La unidad de medida básica de esta cuadrícula es el metro.





*Figura 3.16: Cilindro tangente transversalmente al elipsoide WGS-84*

### 3.2.3 Proyección cónica conformal de Lambert

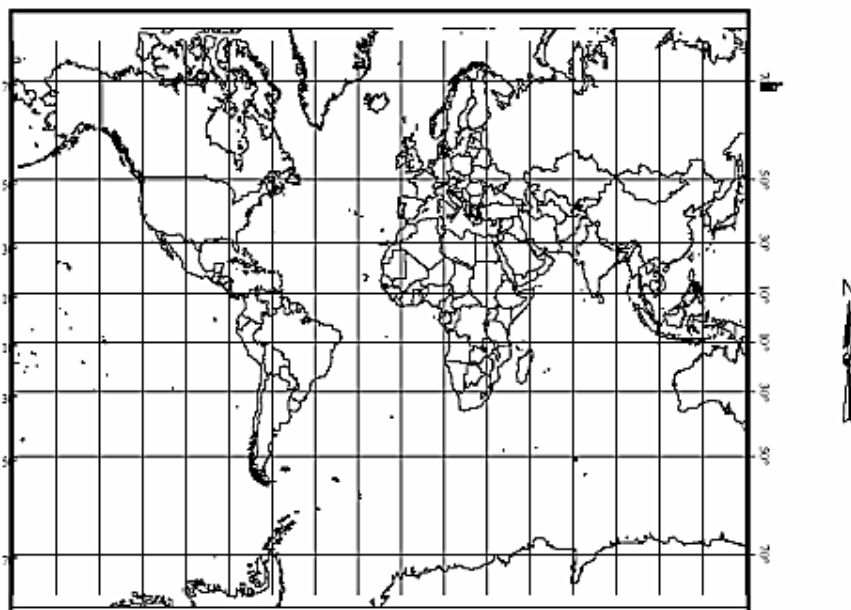
#### Proyección Conforme

La proyección conforme se caracteriza por mantener la forma de los objetos o superficies que se muestran en un mapa. En esta proyección las relaciones angulares no son distorsionadas y por lo tanto los objetos o superficies mantienen en el mapa la forma que tienen en la superficie terrestre.

Las proyecciones de tipo conforme tienen meridianos y paralelos que se cruzan en ángulo recto, tal y como sucede en el globo terráqueo.

La desventaja de este tipo de proyecciones es que distorsionan fuertemente el tamaño de las superficies proyectadas cartográficamente y como consecuencia la escala no es constante a lo largo y ancho del mapa.

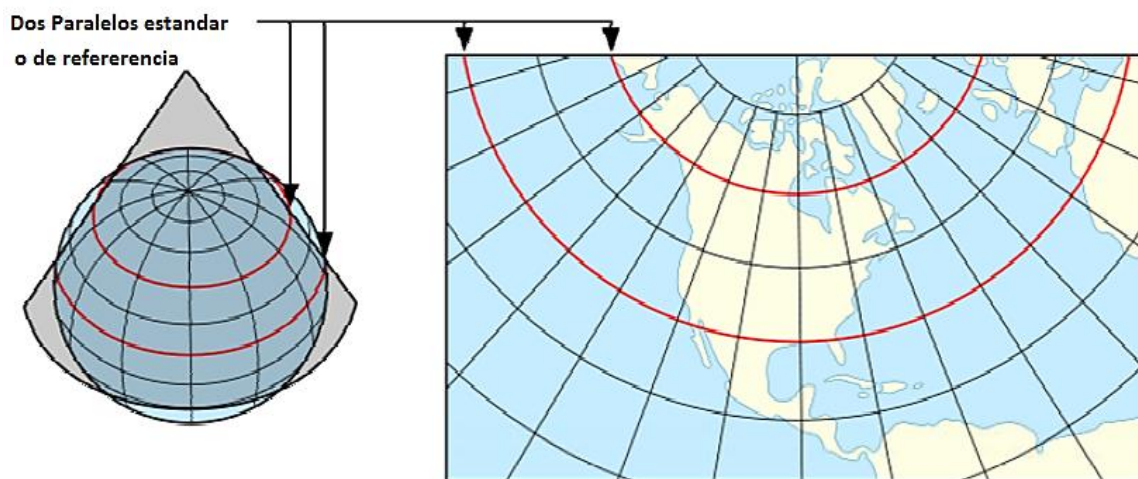
Por ejemplo, en un mapa mandí las superficies en altas latitudes se muestran más grandes de lo que realmente son. Por ejemplo, en la proyección cilíndrica de Mercator Groenlandia aparece mucho más grande que África, Australia y América del Sur. Sin embargo, en la realidad África es 14 veces más grande que Groenlandia, América del sur 9 veces más grande y Australia 3.5 veces más grande (Figura 3.17). (Fallas, J. 2008)



*Figura 3.17: Proyección de Mercator*

### Proyección Cónica Conforme de Lambert

Esta proyección cartográfica fue presentada por Johann Heinrich Lambert en 1772, y consiste en la superposición de un cono sobre la esfera de la Tierra, con dos paralelos de referencia secantes al globo e intersecándolo (Figura 3.18). En esta proyección se muestran los meridianos como líneas rectas equidistantes que convergen en uno de los polos.

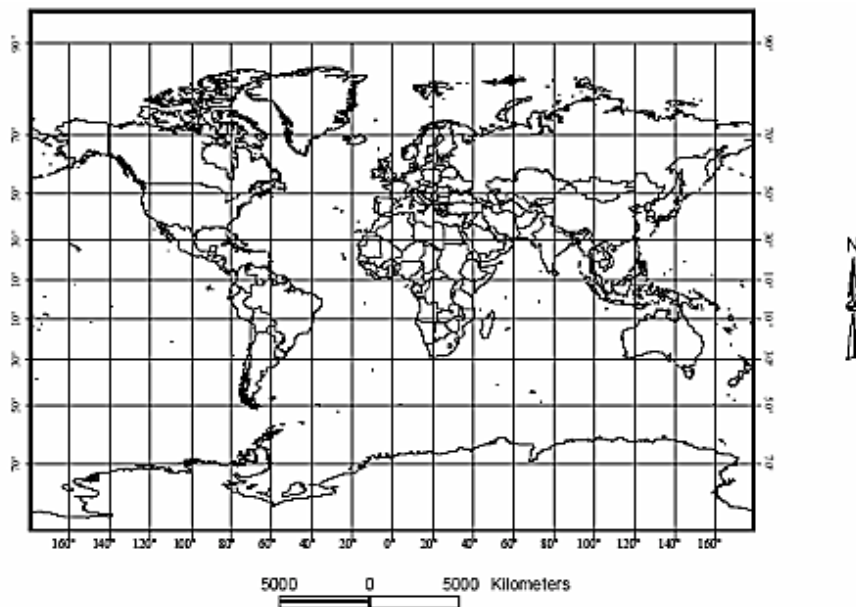


*Figura 3.18: Superposición del cono sobre el globo terráqueo, Proyección Cónica Conformal de Lambert*

Los ángulos entre los meridianos en la proyección son más pequeños que los ángulos correspondientes en el globo terráqueo.

Los paralelos son arcos circulares concéntricos desigualmente espaciados y centrados en el Polo, de tal forma que el espaciamiento entre los paralelos

aumenta según se alejan del polo. En la Figura 3.19 se ilustra la proyección cartográfica de la tierra utilizando este sistema de proyección.



*Figura 3.19: Proyección Lambert Conforme Cónica*

Al utilizar esta proyección cartográfica, que utiliza un cono, el cual se superpone sobre la esfera terrestre y la intercepta en dos paralelos de la misma, se minimiza la distorsión proveniente de proyectar una superficie tridimensional a una bidimensional. La distorsión es nula a lo largo de los dos paralelos de referencia, y se incrementa fuera de los paralelos elegidos. Como el nombre lo indica, esta proyección es conforme.

La escala es verdadera a lo largo de dos paralelos estándar, y es constante a lo largo de cualquier paralelo determinado. La proyección cónica conforme de

Lambert se utiliza ampliamente para la cartografía a gran escala de las regiones con un eje Este-Oeste pronunciado y en regiones de latitud media. Es habitual en muchos países para mapas a escala 1:500.000, así como para las cartas aeronáuticas a una escala similar.

En cuanto al método de proyección se puede decir que es pseudo-geométrico pues los paralelos se representan por arcos de circunferencia concéntricos en el polo, y los meridianos por rectas convergentes al mismo, pero la ley de la proyección supone expresiones matemáticas complejas, y en la actualidad el procedimiento para realizar los cálculos matemáticos que conllevan estas proyecciones cartográficas consiste en utilizar software computacional avanzado.

### **3.2.4 Transformación de coordenadas geográficas WGS-84 a planas bajo la proyección UTM**

Con el sistema GPS se obtienen coordenadas geográficas (Longitud, Latitud) de un punto sobre la superficie terrestre expresadas en grados sexagesimales, referidas a un sistema mundial como el elipsoide WGS-84. Pero la elaboración de mapas, cartas de navegación aéreas o marítimas e incluso ubicar proyectos de construcción requieren coordenadas planas (X, Y). Para lograr obtener coordenadas planas, se utilizan los sistemas de proyección del globo terrestre descritos anteriormente, siendo las de mayor importancia para la zona ecuatorial la UTM; por ser universal y la Cónica conformal de Lambert; adecuada para los países orientados de Este-Oeste.

El proceso de transformar coordenadas geográficas a UTM, se puede realizar a través de varios métodos, por ejemplo, utilizando tablas de proyección UTM del Servicio Geográfico del Ejército de España, Ecuaciones de transformación directa de la US Army y por métodos manuales resolviendo una serie de ecuaciones; las cuales difieren de autor debido a diversos parámetros que utilizan para su ejecución.

En la actualidad, los métodos tradicionales resultan ser tediosos y existe mayor probabilidad de cometer errores en los cálculos o lecturas, por ende, se han desarrollado software que permiten transformar coordenadas geográficas a planas utilizando cualquier sistema de proyección.

Para lograr dicho proceso, se debe tener el conocimiento básico sobre geodesia y las proyecciones a utilizar, en particular si se desea transformar coordenadas geodésicas WGS-84 a planas bajo proyección UTM, es necesario definir los siguientes parámetros:

- Un datum: De tipo global, es decir el datum WGS-84 (Geocéntrico) asociado al elipsoide con el mismo nombre. Dicho datum es compatible con los dispositivos GPS. Por ende, al convertir coordenadas que están referidas a otro datum que no sea el WGS-84, la ubicación del punto variara por varios metros.

- Método de transformación: Para transformaciones de coordenadas dentro del mismo datum, usar el modelo de Molondsky resulta bastante preciso, existe otros modelos como el de Molodensky-Badekas que toman más parámetros para convertir coordenadas y trasladar datums de un sistema a otro. En este caso como no se realiza cambio de datum y se adopta el mismo elipsoide no es necesario establecer parámetros de traslación y rotación.
  
- Parámetros fundamentales del Elipsoide WGS-84:
  - Radio ecuatorial “a”: 6378137.0000 metros
  - Radio polar “b”: 6356752.3142 metros
  - Achatamiento “f”: 1/298.257223563
  - 1/ “f”:298.257223563
  - Excentricidad (e): 0.081819190843
  - Segunda excentricidad (e´): 0.082094437950.

El Elipsoide WGS-84 y la proyección UTM son los sistemas de referencia cartográficos involucrados en la transformación de coordenadas.

Es importante saber identificar el cambio de sistema que se realizara y tener en cuenta los parámetros de la proyección a utilizar en este caso la UTM requiere:

- 1) Poseer las coordenadas geográficas WGS-84

- 2) Establecer el Huso o Zona donde se encuentra la coordenada a proyectar, tomando en cuenta que la proyección UTM suma 500 km a las coordenadas ubicadas al Este (Falso Este) y 10, 000 km a todos aquellos puntos ubicados en el hemisferio sur (Falso Norte) con la finalidad de evitar tener coordenadas negativas. (Figura 3.20 Y 3.21)

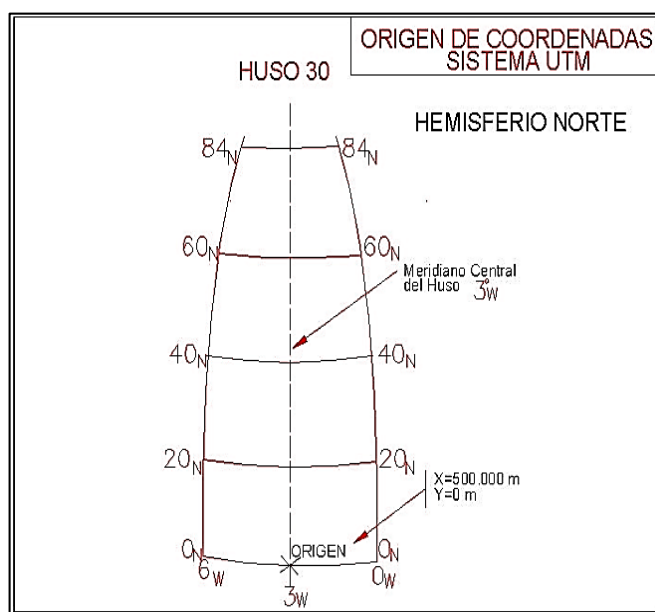


Figura 3.20: Hemisferio norte de Huso 30 utilizado en la proyección UTM.



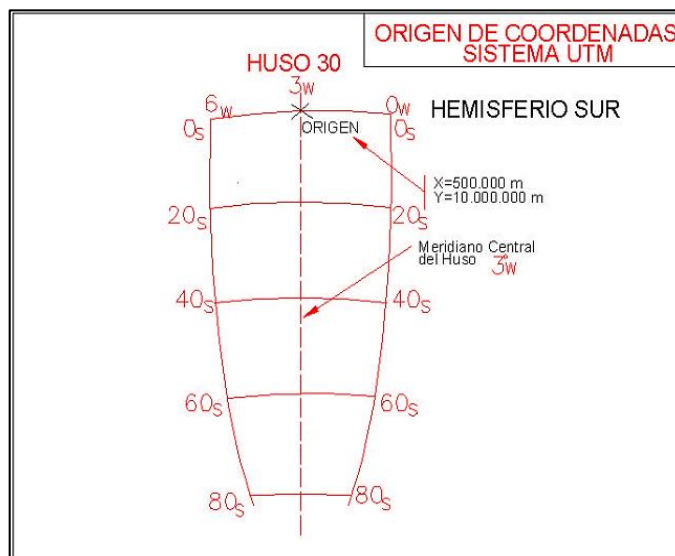


Figura 3.21: Hemisferio sur de Huso 30 utilizado en la proyección UTM

- 3) Conocer el origen de la Latitud, o sea el Ecuador que posee coordenadas geográficas  $0^{\circ} 00' 00''$  y la longitud que posee el meridiano central de cada Huso o Zona referido desde el Meridiano de Greenwich.
- 4) Conocer el factor de escala; se refiere al hecho que al pasar de un sistema de coordenadas a otro las distancias puede ser mayores o menos, y resulta necesario ajustarlas. Dicho factor de ajuste es conocido como  $K_c$  y tiene un valor de 0.9996000.

Al conocer cada uno de los parámetros y conceptos anteriores, se puede hacer uso de software como The Geographic Calculator, siendo una herramienta eficaz

para convertir coordenadas geográficas WGS-84 obtenidas con GPS a Coordenadas Plana bajo la proyección de UTM utilizando el datum WGS-84.

### **3.2.5 Transformación de coordenadas geográficas a planas bajo la proyección cónica de Lambert SIRGAS-ES2007**

El Salvador al adoptar el sistema de referencia mundial WGS-84 a través de una red de densificación nacional SIRGAS-ES 2007, al realizar mediciones con GPS y obtener coordenadas geográficas WGS-84, ya no será necesario tomar en cuenta parámetros fundamentales de transformación Molodensky ( $T_x, T_y, T_z$ ), debido a que las mediciones satelitales usan el Datum WGS-84 (Global) y la cartografía de nuestro país estuvo referida al Datum NAD-27 (Local) asociado al elipsoide Clark 1886, dichos parámetros ayudaban a pasar de un Datum Global a uno Local, fueron calibrados logrando obtener una proyección Lambert NAD-27 3 parámetros El Salvador, pero actualmente estos parámetros adoptan el valor de  $T_x=0, T_y=0, T_z=0$  ya que por la entrada en vigencia de SIRGAS-ES2007 toda nuestra cartografía debe estar referenciada al datum WGS-84 y la proyección a utilizar es la Cónica Conformal de Lambert (2 paralelos). Ver tabla 3.1.

Como se expuso anteriormente dicha proyección resulta ventajosa para países orientados de Este- Oeste y cercanos al ecuador, y esta viene acompañada de ciertos parámetros para obtener coordenadas planas. Es importante resaltar que gracias a SIRGAS-ES2007 el país cuenta con un marco de referencia que

permite obtener mediciones más precisas y por ende las proyecciones deben tomar en cuenta dicho marco de referencia para evitar algunas distorsiones.

Para realizar las transformaciones de coordenadas geográficas a planas Lambert es necesario definir:

- El datum WGS-84
- El elipsoide WGS-84 con sus parámetros fundamentales.
- Falso Norte y Falso Este, estos valores se refieren a un sistema de coordenadas ficticio con el fin de evitar valores negativos en las coordenadas planas. El eje y es asumido y el eje x representado por el ecuador.
- Sistema de coordenadas cartográficas resultante.

Este último requisito se refiere a las coordenadas resultantes de la transformación, es decir donde se definen los requerimientos para emplear la proyección cónica conforme de Lambert.

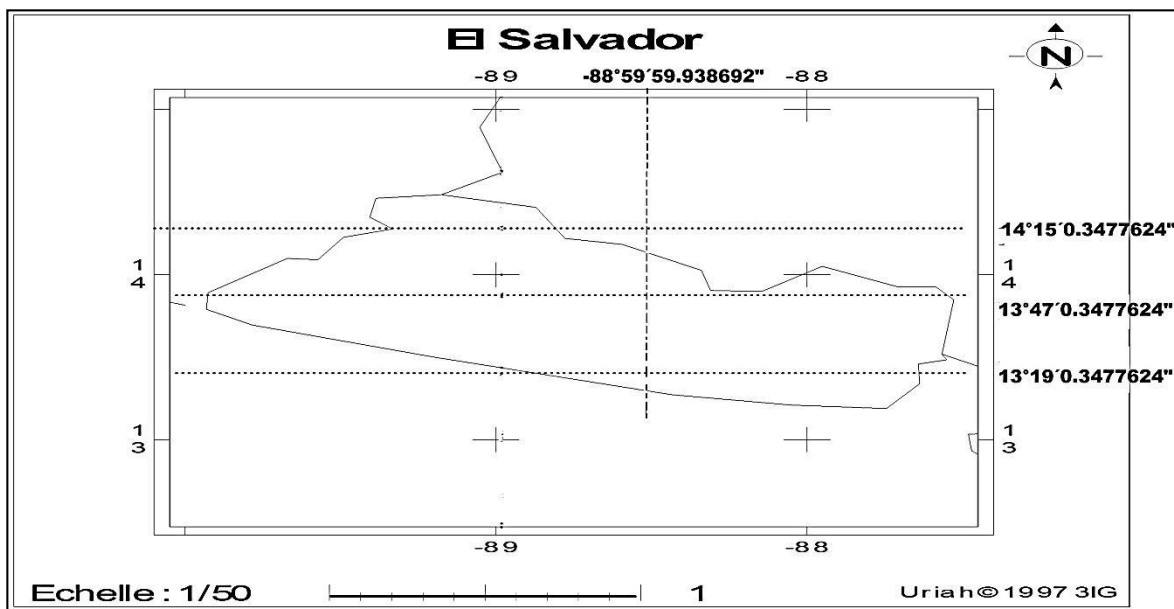
En la tercera columna de la Tabla 3.1 se presentan todos los valores de los parámetros adaptados al país bajo la proyección Lambert SIRGAS-ES2007 a utilizar para la conversión de coordenadas, los cuales son indispensables en cualquier software que se utilice para dicho fin.

*Tabla 3.1: Diferentes parámetros utilizados para obtener coordenadas planas bajo la proyección cónica conforme de Lambert adaptada para El Salvador.*

<b>Proyección</b>	Lambert NAD-27 Centro América	Lambert NAD-27 3 parámetros ES	Lambert SIRGAS- ES2007
<b>Coordenadas de entrada</b>	Latitud ( $\varphi$ ) y longitud ( $\lambda$ ) referidas a NAD27	Latitud ( $\varphi$ ) y longitud ( $\lambda$ ) referidas a NAD27	Latitud ( $\varphi$ ) y longitud ( $\lambda$ ) referidas a SIRGAS-ES2007/ ITRF/WGS84
<b>Elipsoide</b> <b>Semieje mayor</b> <b>Semieje menor</b> <b>Achatamiento</b> <b>Excentricidad</b>	Clark 1866 a = 6 378 206.4 m b = 6 356 583.8 m 1/f = 294.978 698 21390 e <sup>2</sup> = 0.006 768 657 997 291	Clark 1866 a = 6 378 206.4 m b = 6 356 583.8 m 1/f = 294.978 698 21390 e <sup>2</sup> = 0.006 768 657 997 291	GRS80/WGS-84 a = 6 378 137 m b = 6 356 752.314 14 m 1/f = 298.257 222 101 e <sup>2</sup> = 0.006 694 380 0229
<b>Parámetros de la proyección</b> Falso Este Falso Norte Paralelo origen Meridiano Origen 1-Paralelo Estándar	500000.000 m 295809.184 m 13° 47' N (valor en NAD27) 89° 00' W (valor en NAD27). 13° 19' N (valor en NAD27).	500000.000 m 295809.184 m 13° 47' N (valor en NAD27) 89° 00' W (valor en NAD27). 13° 19' N (valor en NAD27).	500000.000 m 295809.184 m 13° 47' 03.477624" N (valor en SIRGAS) 88° 59' 59.938692" W (valor en SIRGAS). 13° 19' 03.477624" N (valor en SIRGAS).

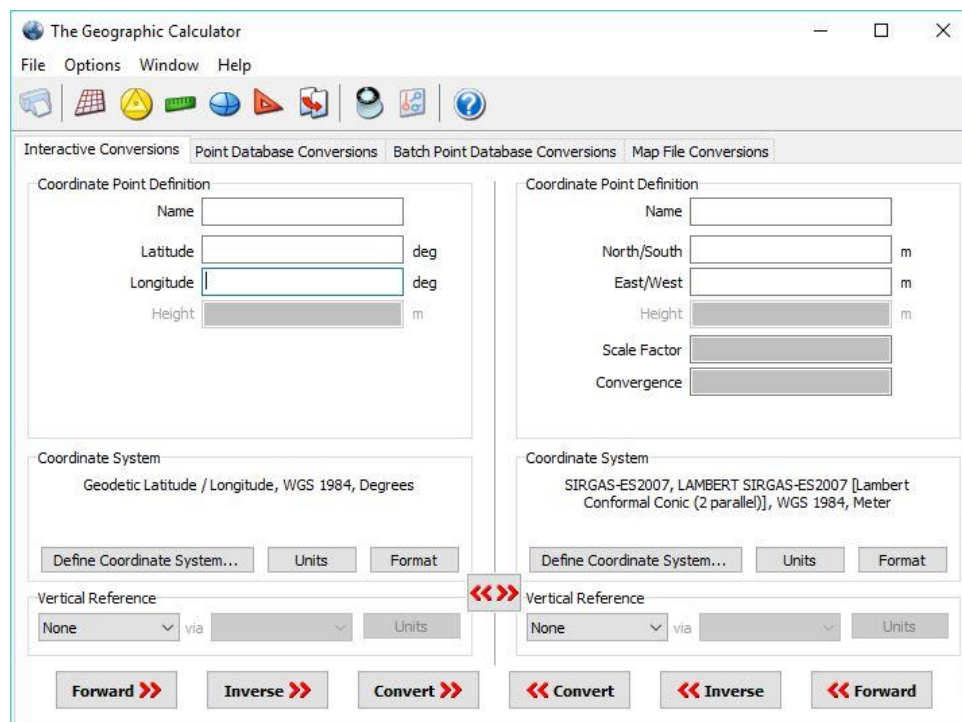
2-Paralelo estándar	14° 15' N (valor en NAD27).	14° 15' N (valor en NAD27).	14° 15' 03.477624" N (valor en SIRGAS).
Factor de escala en meridiano origen.	0.99996704	0.99996704	0.99996704
<b>Datum</b>	NAD 27 Centro América Tipo Molodensky: (bidimensional) Tx= 0 Ty= 125 Tz= 194	NAD 27 Tipo Molodensky: (bidimensional) Tx= 0 Ty= 105.5 Tz= 197.2	WGS-84 Tipo Molodensky: (Tridimensional Geocéntrico) Tx= 0 Ty= 0 Tz= 0
<b>Resultados</b>	Coordenadas planas N y E referidas a NAD27 Centro América	Coordenadas planas N y E referidas a NAD27 3 Parámetros ES	Coordenadas planas N y E referidas a SIRGAS-ES2007.8

Es importante destacar que los paralelos y meridianos de origen se refieren, aquellos que pasan por nuestro país y los paralelos estándares son los que se determinaron para formar el marco de referencia (Figura 3.22) y obtener coordenadas horizontales más precisas, dichas coordenadas se denominan Coordenadas Planas Lambert SIRGAS-ES2007 (X, Y).



*Figura 3.22: El Salvador enmarcado por los paralelos y meridianos requeridos para transformar coordenadas geográficas WGS-84 a Coordenadas Planas Lambert SIRGAS-ES2007.*

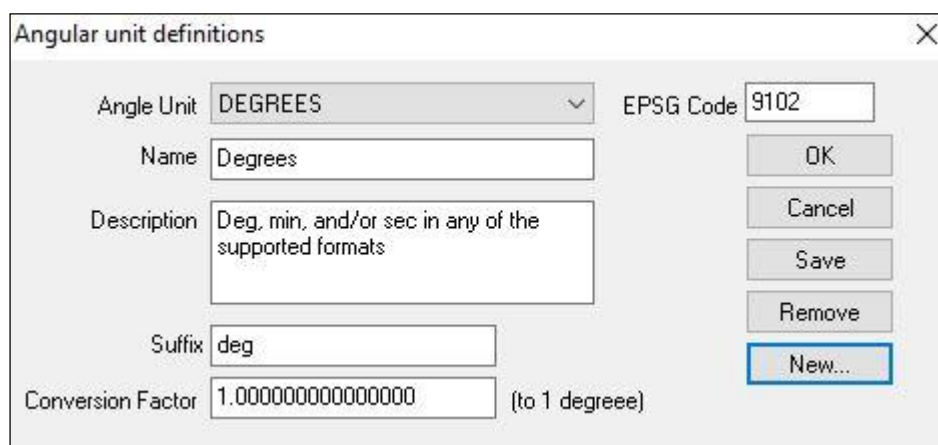
Conociendo los parámetros anteriores, se presenta la interfaz para utilizar el software Geographic Calculator para transformar coordenadas geográficas WGS-84 a Coordenadas Planas Lambert SIRGAS-ES2007.



Los iconos utilizados para la configuración del software e ingresar los parámetros de la tabla 3.1 son los siguientes:



: Se utiliza para establecer las unidades de entradas de las coordenadas geográficas a convertir.





: Este icono ayuda a definir un elipsoide de referencia, del cual provienen las coordenadas geográficas, al hacer clic se muestra un cuadro de dialogo donde se puede ingresar todos los parámetros respectivos al elipsoide o crear uno nuevo.


Parameter	Value
Ellipsoid	WGS84
EPSG Code	7030
Ellipsoid Name	WGS 1984
Description	
Semi-Major Axis (a)	6378137.00000000
Semi-Minor Axis (b)	6356752.31424518
Flattening (f)	0.003352810665
Inverse Flattening (1/f)	298.257223563000
Eccentricity (e)	0.081819190843
Second Eccentricity (e')	0.082094437950

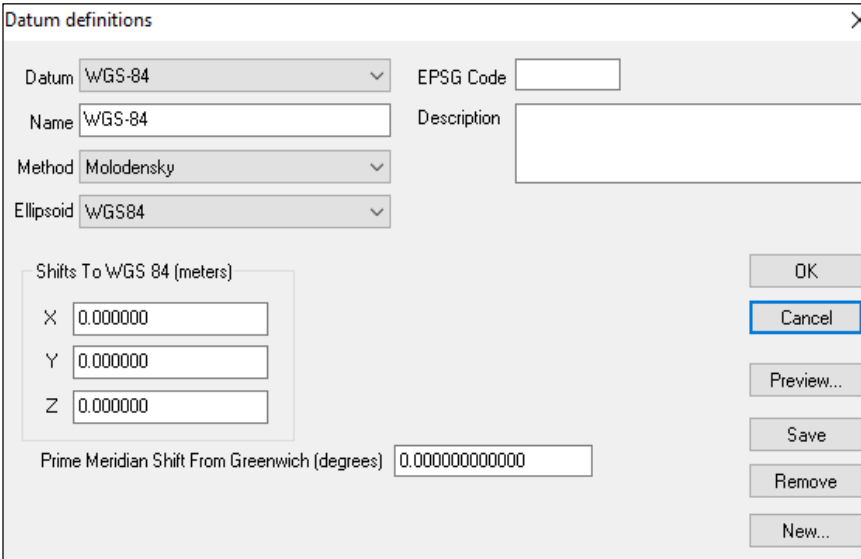



: Se utiliza para definir las unidades de longitud en las cuales se quiere que aparezcan las coordenadas planas. Permite decidir entre diferentes sistemas de unidades de medida, como metros, pulgadas, etc.

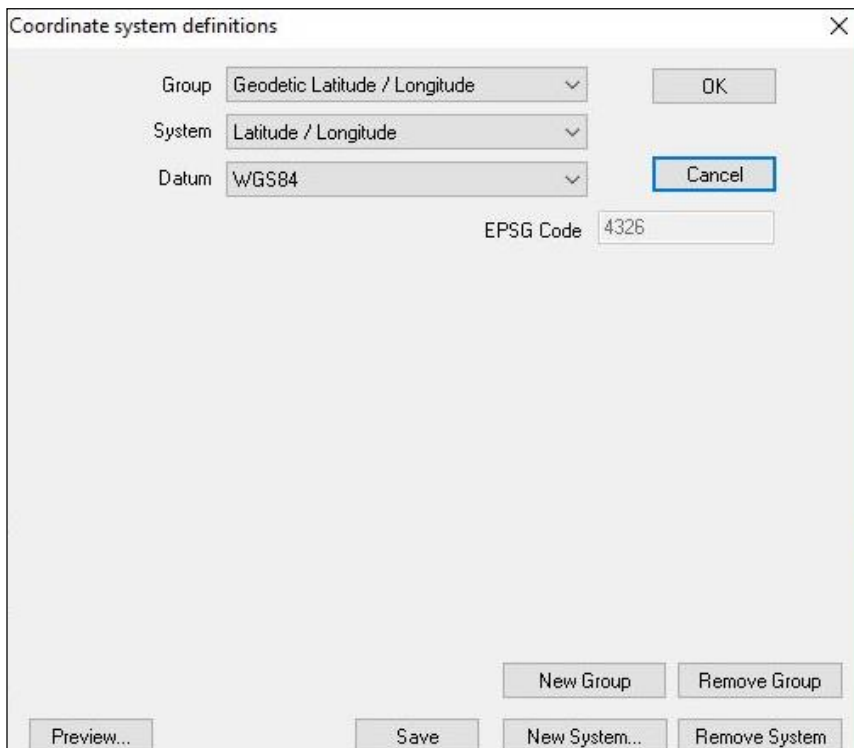
Parameter	Value
Linear Unit	METERS
EPSG Code	9001
Name	Meter
Description	
Suffix	m
Conversion Factor	1.0000000000000000 (to 1 meter)



 : Permite definir un datum o crear uno nuevo con todos los parámetros que lo acompañan visto anteriormente. En caso particular se define el datum WGS-84.



 : Para definir un sistema de coordenadas que servira para ingresar coordenadas geograficas y obtener coordenadas planas. En primera instancia se selecciona la entrada de coordenadas geodesicas Latitud y Longitud y un sistema que reconoce dichos valores, al igual que se determina el datum al cual estan referidas dichas coordenadas.



Para establecer el sistema Lambert SIRGAS-ES2007 para las coordenadas planas de nuestro país se deben seguir los siguientes pasos:

- Primero hacer clic en New Group y nombrar el grupo como SIRGAS-ES2007.
- Lo siguiente es hacer clic en New System y nombrarlo como Lambert SIRGAS-ES2007. Y automáticamente el software solicita el datum y la proyección a la que se transformarán las coordenadas geográficas.
- Se define la proyección como Lambert Conformal Conic (2 parallel).
- Ingresar los parámetros exigidos, que se encuentran en la tabla 3.2.1.

Coordinate system definitions

Group: SIRGAS-ES2007

System: LAMBERT SIRGAS-ES2007

Datum: WGS84

Linear Unit: METERS

EPSG Code: 1000

Projection: Lambert Conformal Conic (2 parallel)

Origin Latitude: N 13 47 03.48

Origin Longitude: W 88 59 59.94

False Northing (m): 295809.18400

False Easting (m): 500000.00000

Northern Parallel: N 13 19 03.48

Southern Parallel: N 14 15 03.48

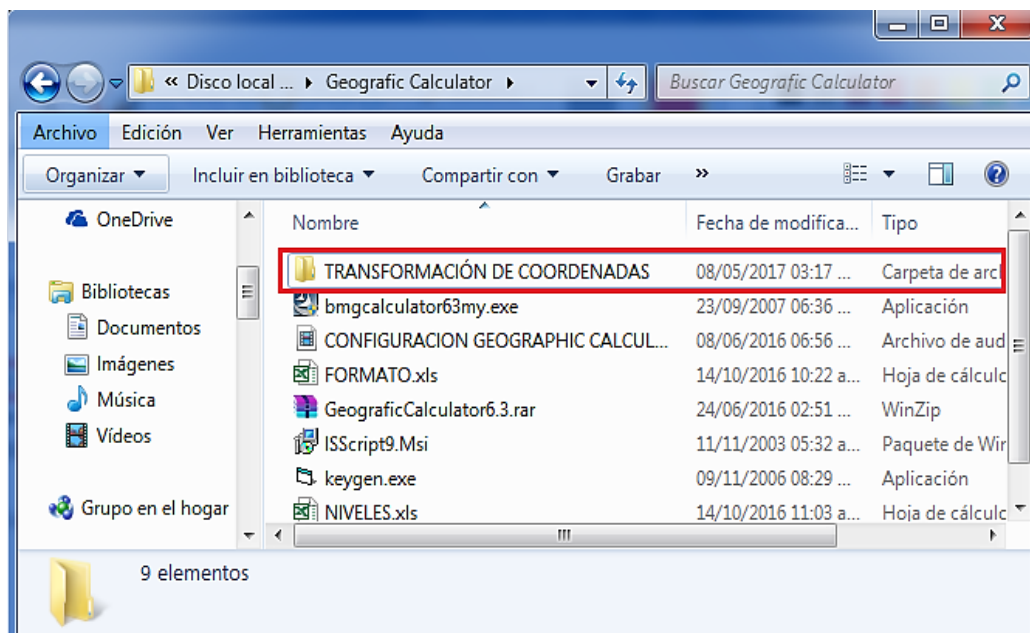
Buttons: OK, Cancel, New Group, Remove Group, Preview..., Save, New System..., Remove System

**Procedimiento para la transformación de coordenadas geográficas a planas utilizando el software Geographic Calculator.**

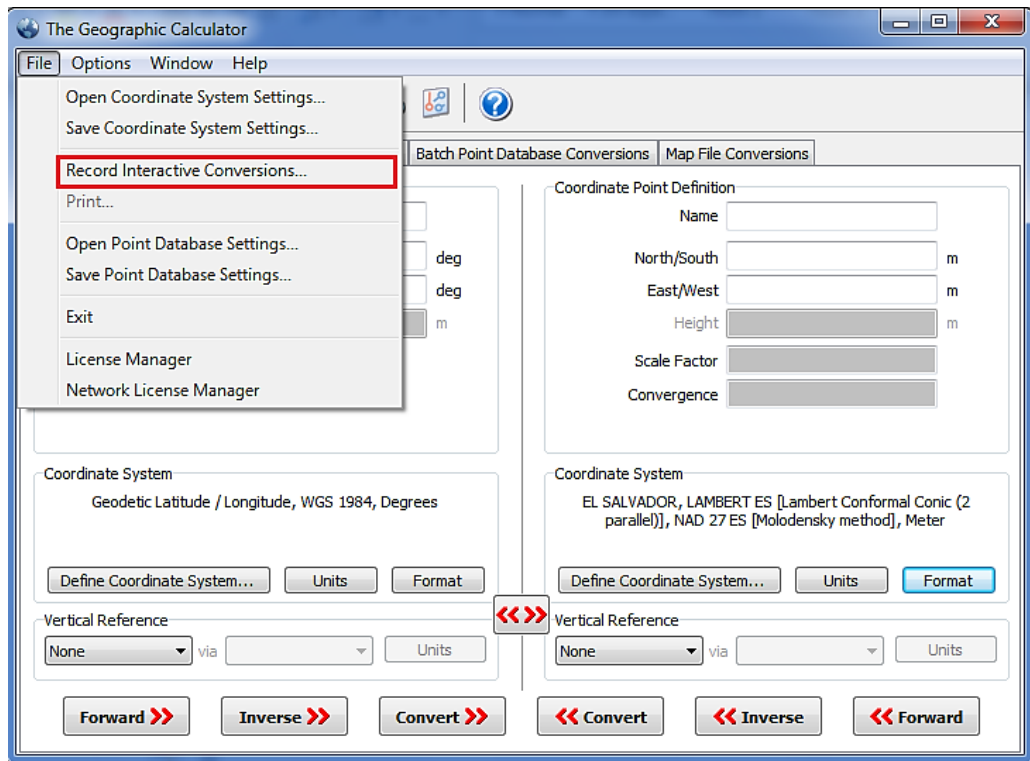
**Procedimiento 1: Datos ingresados directamente al software.**

El procedimiento para la transformación de coordenadas geográficas (Latitud, Longitud) a coordenadas planas (x, y), es el siguiente:

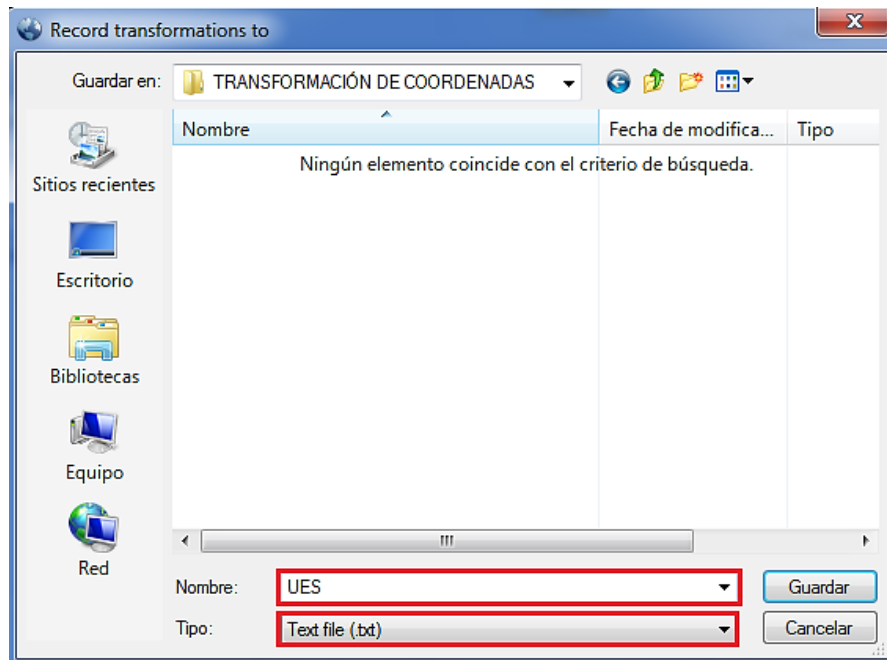
- 1) Creación de una carpeta que contenga los resultados de la transformación. Ejemplo, la carpeta enmarcada en el rectángulo rojo de la Figura.



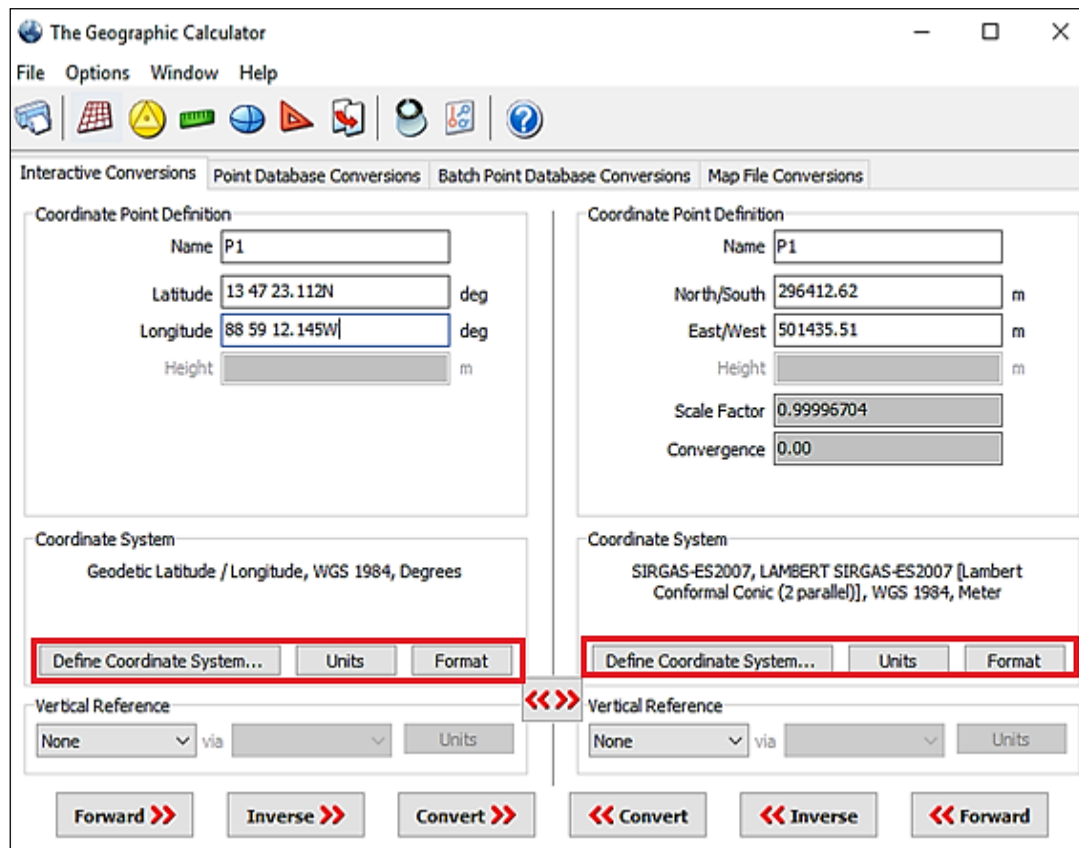
- 2) Registrar en el software la carpeta creada en el paso anterior, en la cual se guardarán las transformaciones, para ello dar clic en la pestaña File, y seleccionar la opción Record Interactive Conversión.



Aparecerá la siguiente ventana en la que se debe buscar la carpeta creada anteriormente, ingresar a esta y nombrar el archivo de formato .txt que generará el software con los resultados de la transformación, finalmente dar clic en guardar.



- 3) Configurar los parámetros del software para la entrada y la salida de datos, estos parámetros son el sistema de coordenadas, las unidades y el formato de los datos, estos se configuran independientemente para los datos de entrada y salida, dando clic en los botones respectivos (rectángulos rojos en la siguiente figura).



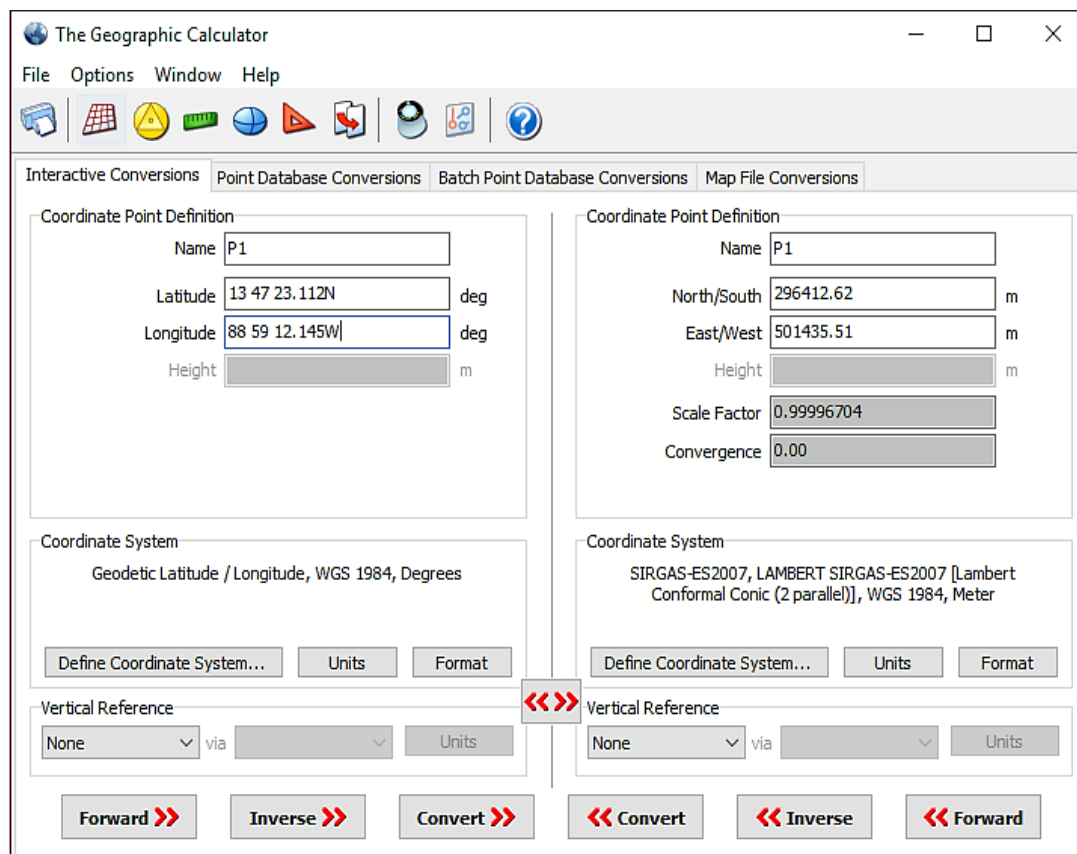
El sistema de coordenadas de los datos de entrada corresponde al que se utiliza para determinar las coordenadas geográficas (Latitud y Longitud). En el Salvador se utiliza el sistema de referencia geodésico global WGS-84). El sistema de referencia para la salida de datos corresponde al sistema de referencia que se utiliza localmente en la transformación de coordenadas, en El Salvador se utiliza el Lambert SIRGAS-ES 2007.

- 4) En este paso se ingresan los datos y se realiza la conversión de coordenadas. Se coloca el nombre del punto de coordenada (Ejemplo, P1). Las coordenadas geográficas (Latitud y Longitud) se pueden ingresar en dos formatos diferentes, el primero consiste en ingresarlos utilizando el formato original, en el cual el número va acompañado del símbolo correspondiente a grados, minutos o segundos, según corresponda (Ejemplo, Latitud: 13°47'23.112''N); en el segundo formato los números que corresponden a los grados, minutos y segundos, no van acompañados de estos símbolos, únicamente van separados por un espacio (Ejemplo, Latitud: 13 47 23.112N).

Al ingresar correctamente las coordenadas geográficas se realiza la conversión dando clic en el botón Convert, como se ilustra en la siguiente figura.

Al realizar la conversión los resultados aparecen en el recuadro de salida de datos, a la derecha del correspondiente a la salida de datos, como se muestra en la siguiente figura. Las unidades de las coordenadas transformadas es el metro, como corresponde a las coordenadas planas (x, y).

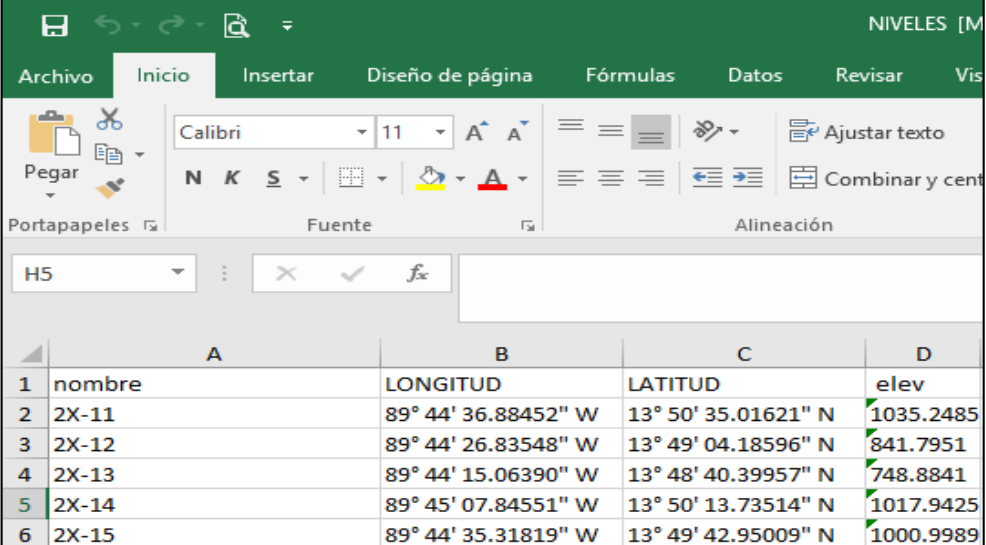




- 5) Al realizar la transformación de coordenadas se genera un archivo .txt en la carpeta creada en el paso 1, este archivo contiene toda la información de la transformación.

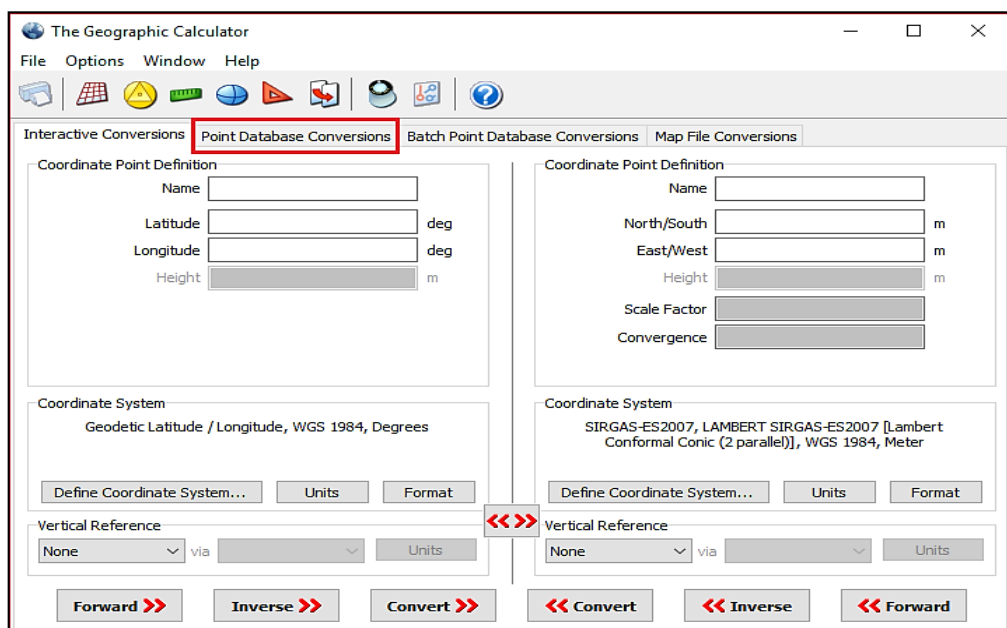
## Procedimiento 2: Datos guardados en un archivo.

1. Es necesario tener un documento en Excel con los datos de las coordenadas geográficas a convertir, el libro deberá tener el siguiente formato

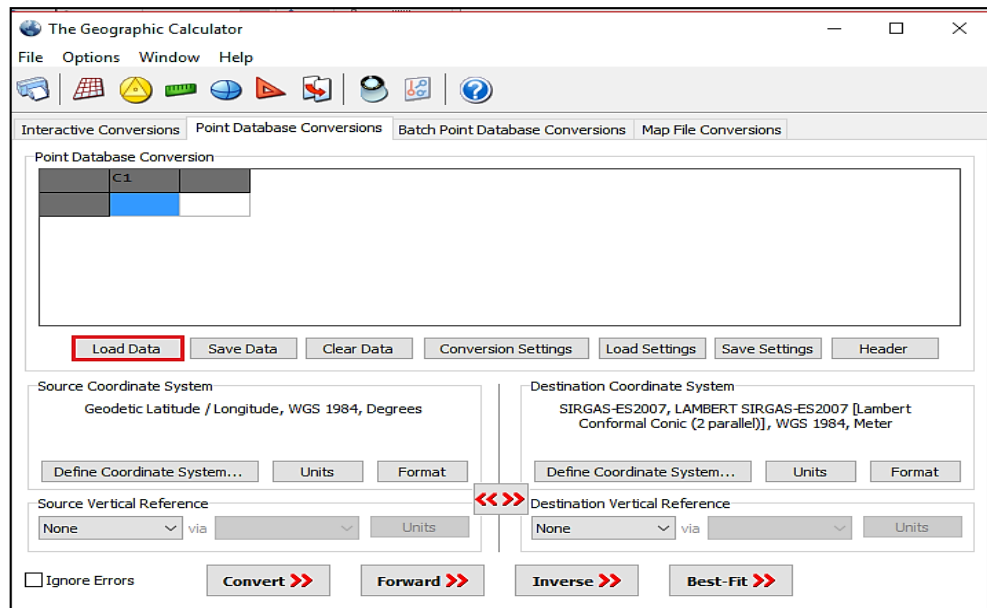


	A	B	C	D
1	nombre	LONGITUD	LATITUD	elev
2	2X-11	89° 44' 36.88452" W	13° 50' 35.01621" N	1035.2485
3	2X-12	89° 44' 26.83548" W	13° 49' 04.18596" N	841.7951
4	2X-13	89° 44' 15.06390" W	13° 48' 40.39957" N	748.8841
5	2X-14	89° 45' 07.84551" W	13° 50' 13.73514" N	1017.9425
6	2X-15	89° 44' 35.31819" W	13° 49' 42.95009" N	1000.9989

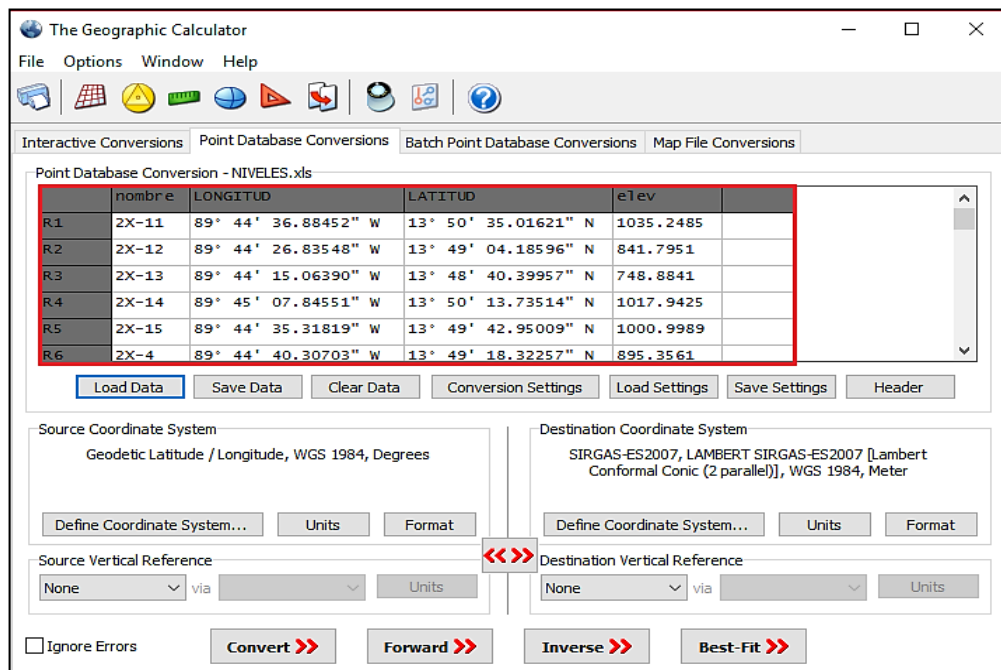
2. Seleccionar la opción Point Database Conversions del software



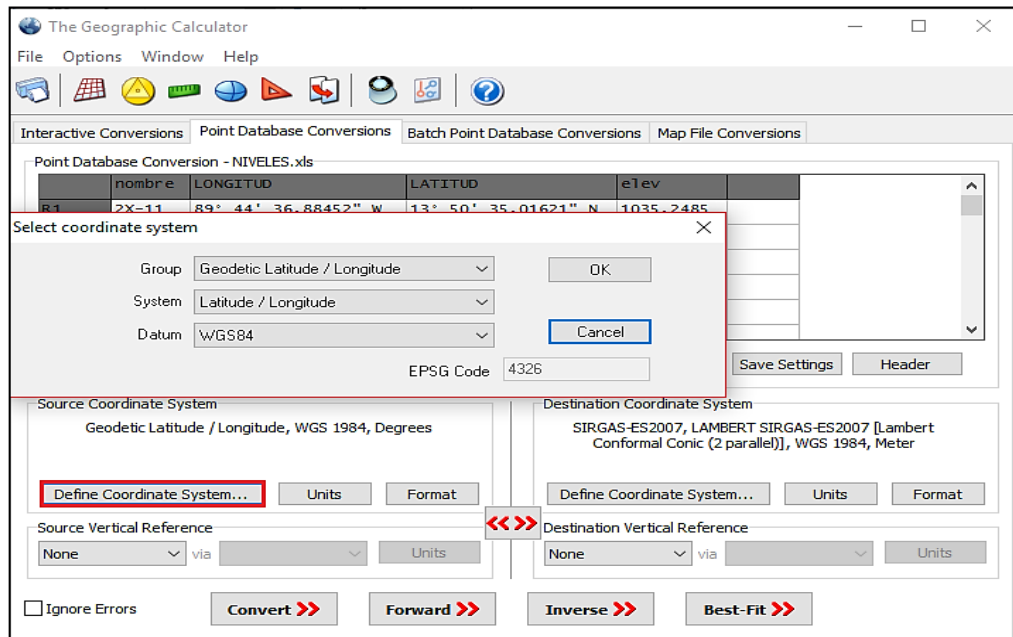
3. Seleccionar Load Data para cargar el archivo donde se encuentran las coordenadas geográficas, se abrirá una ventana donde se busca el documento (Para este ejemplo se usará un documento llamado niveles).



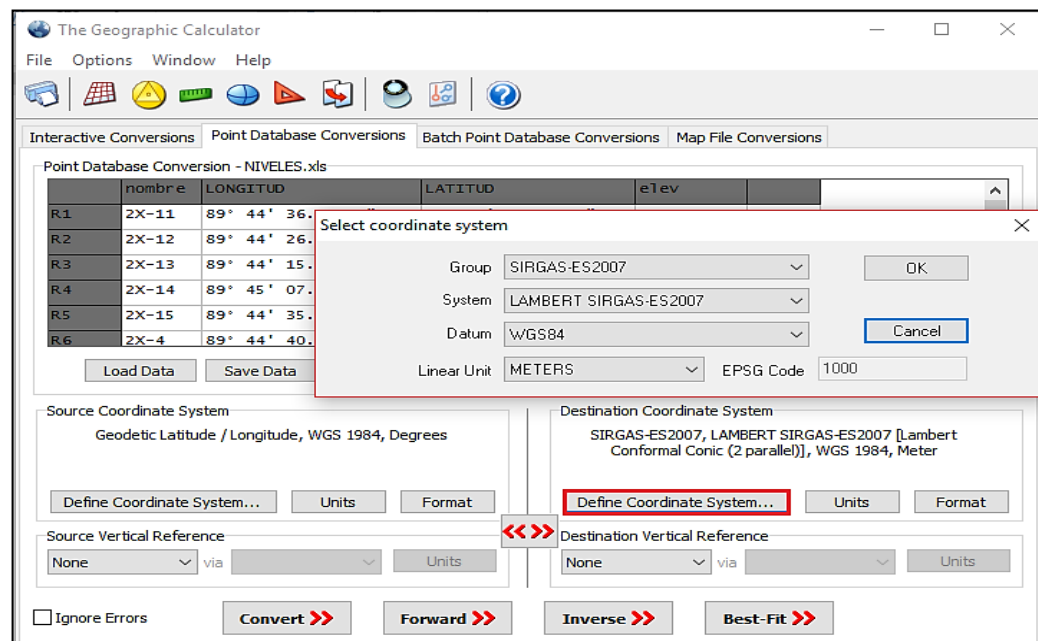
4. Al cargar el archivo, aparecerá la siguiente información en el software:



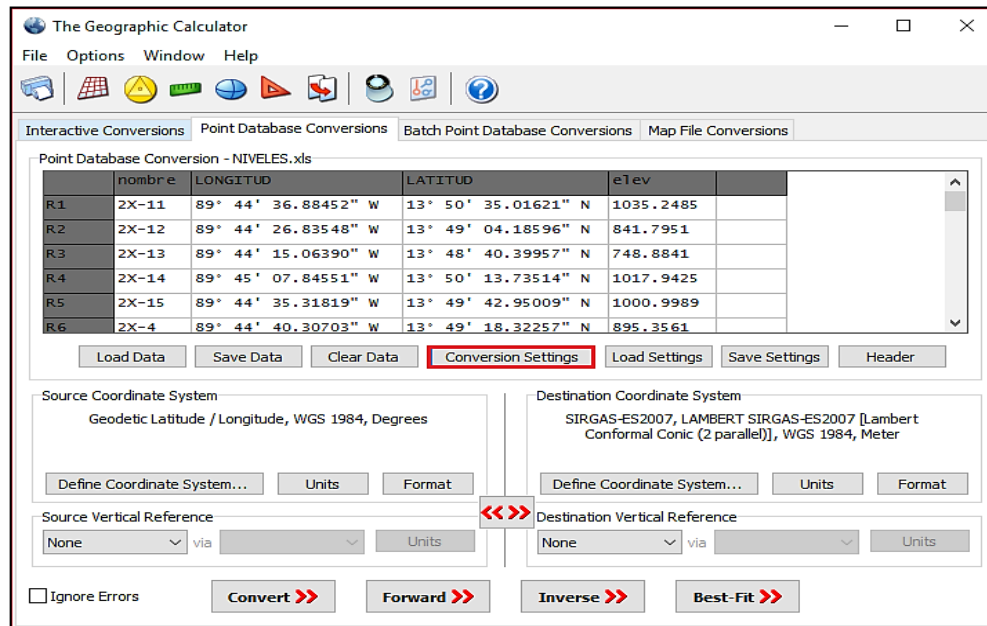
5. Definir el sistema de coordenadas de entrada (Para el caso Coordenadas geográficas WGS-84)



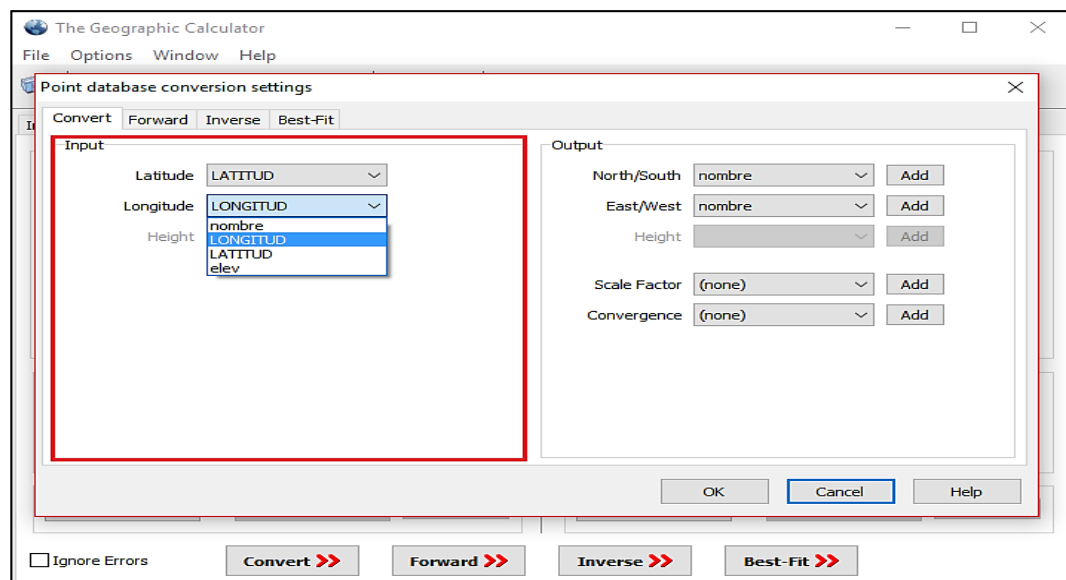
6. Definir el sistema de coordenadas de salida (Para el caso Coordenadas planas Lambert SIRGAS-ES2007)



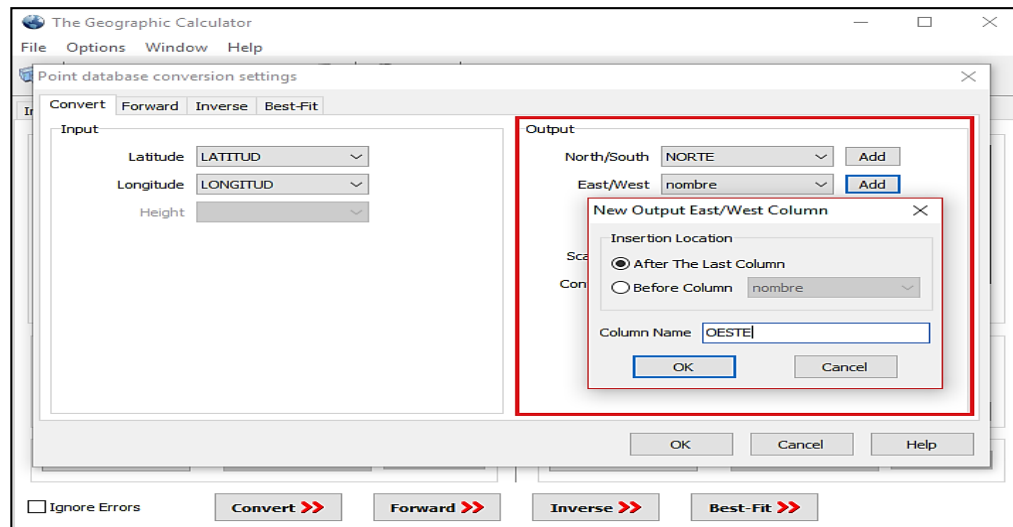
7. Seleccionar Conversions Settings, para configurar algunos parámetros de salida.



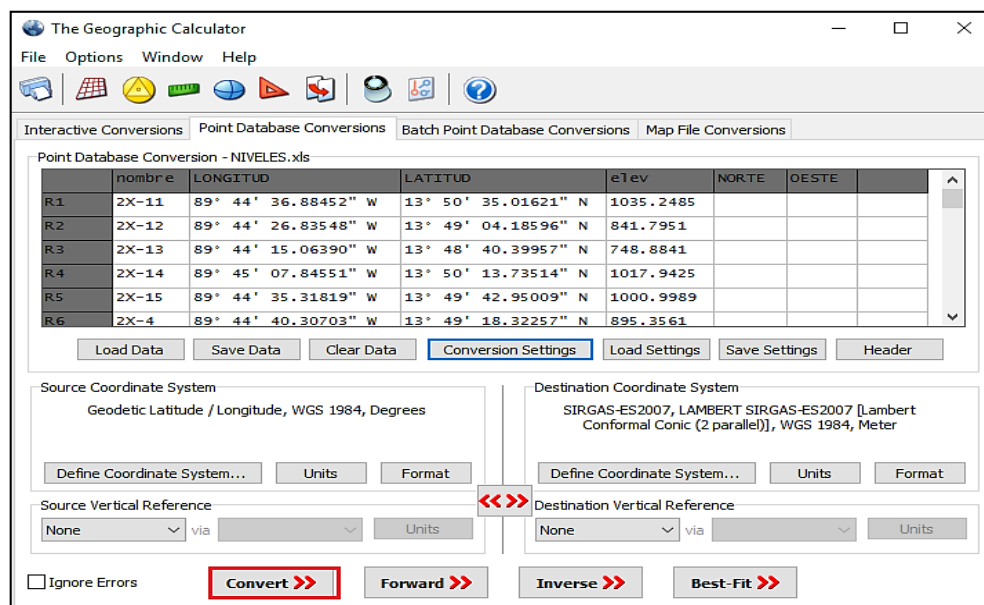
8. Una vez que se selecciona Conversión Settings, para los datos de entrada se debe hacer coincidir latitud con latitud y longitud con longitud, como se muestra a continuación:



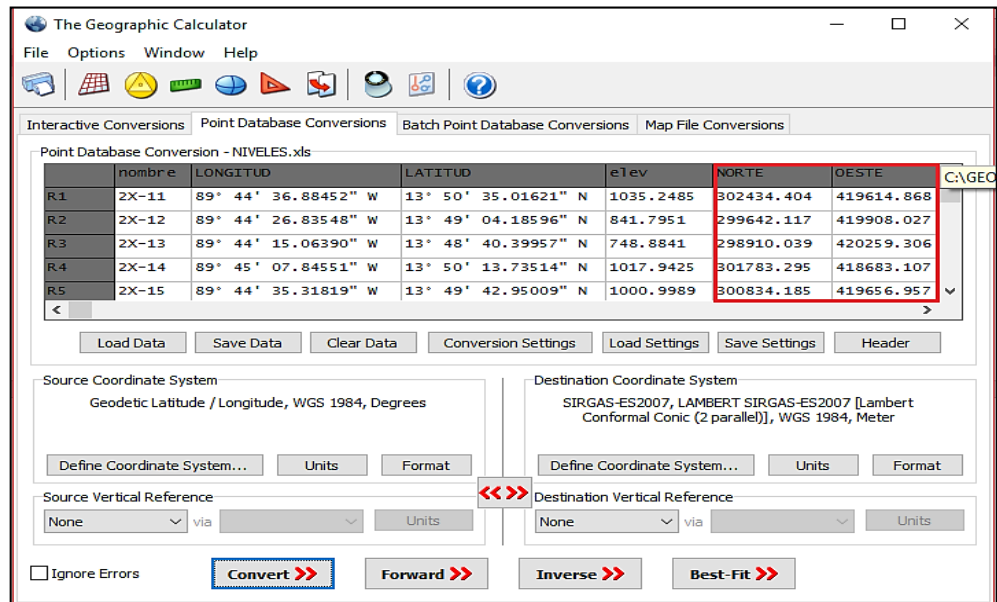
9. Para la salida de resultados debe hacerse al igual que en el paso 8, con la excepción que en vez de latitud se pondrá norte o sur y en vez de longitud, este u oeste, según corresponda.



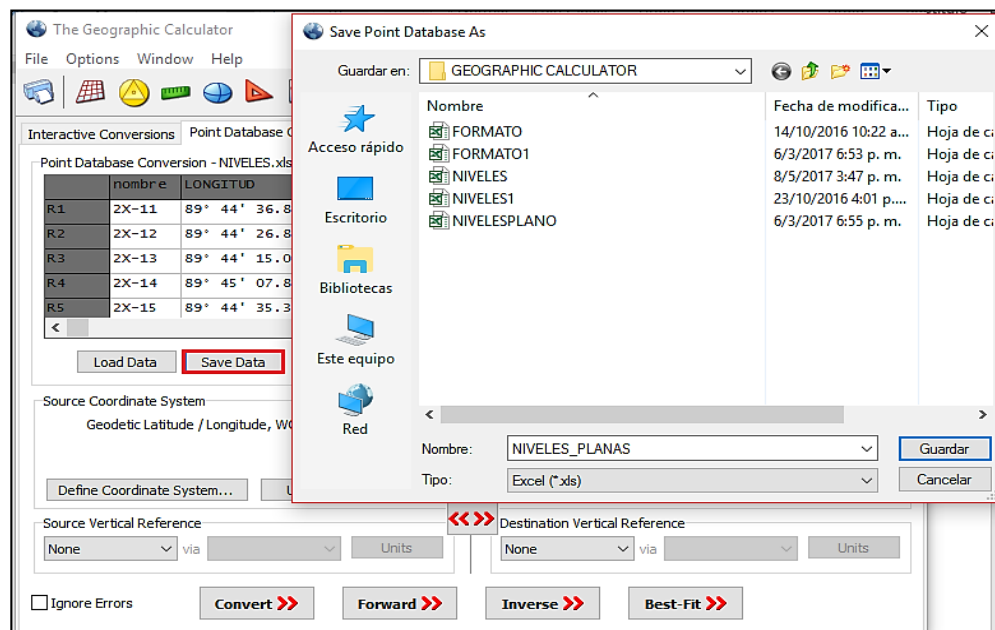
10. Una vez este configurado los datos de entrada y salida, solo queda convertir las coordenadas geográficas a planas, seleccionando Convert en el software



11. Después de pulsar Convert, automáticamente aparecen dos columnas con los valores de las coordenadas planas como se ve a continuación:

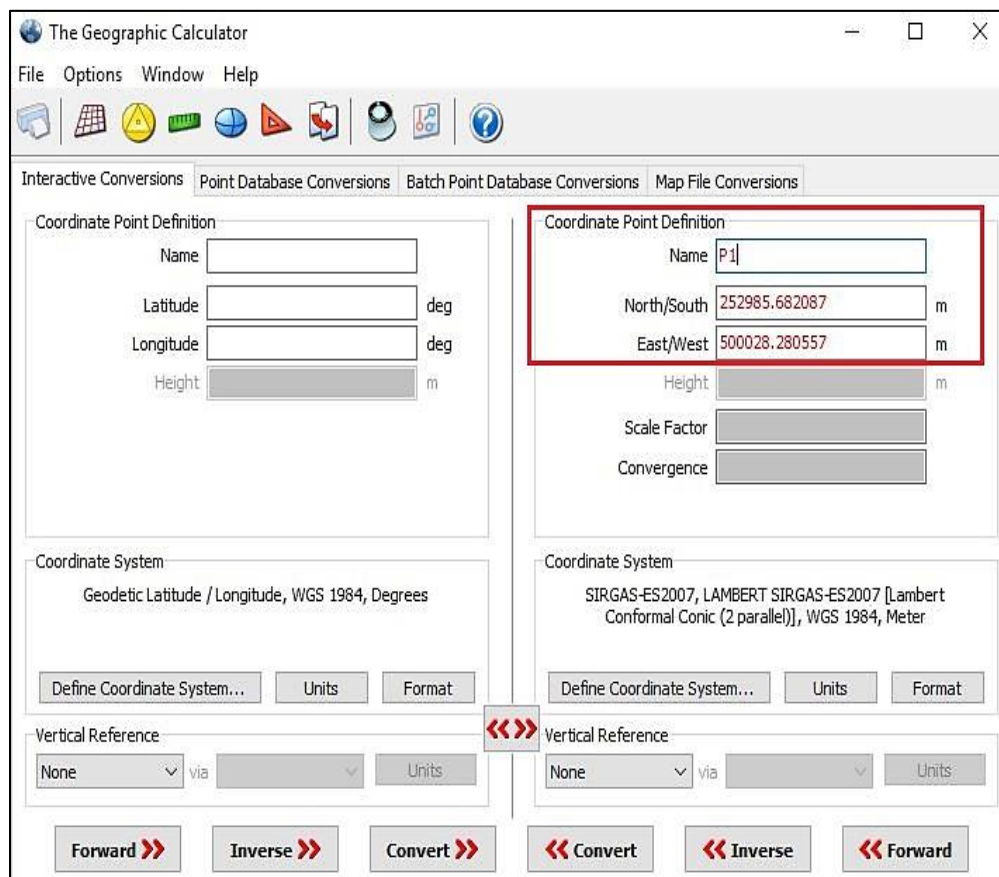


12. Finalmente seleccionar Save Data, para guardar el documento, se coloca un nombre y el formato de salida, puede ser en un libro de Excel.



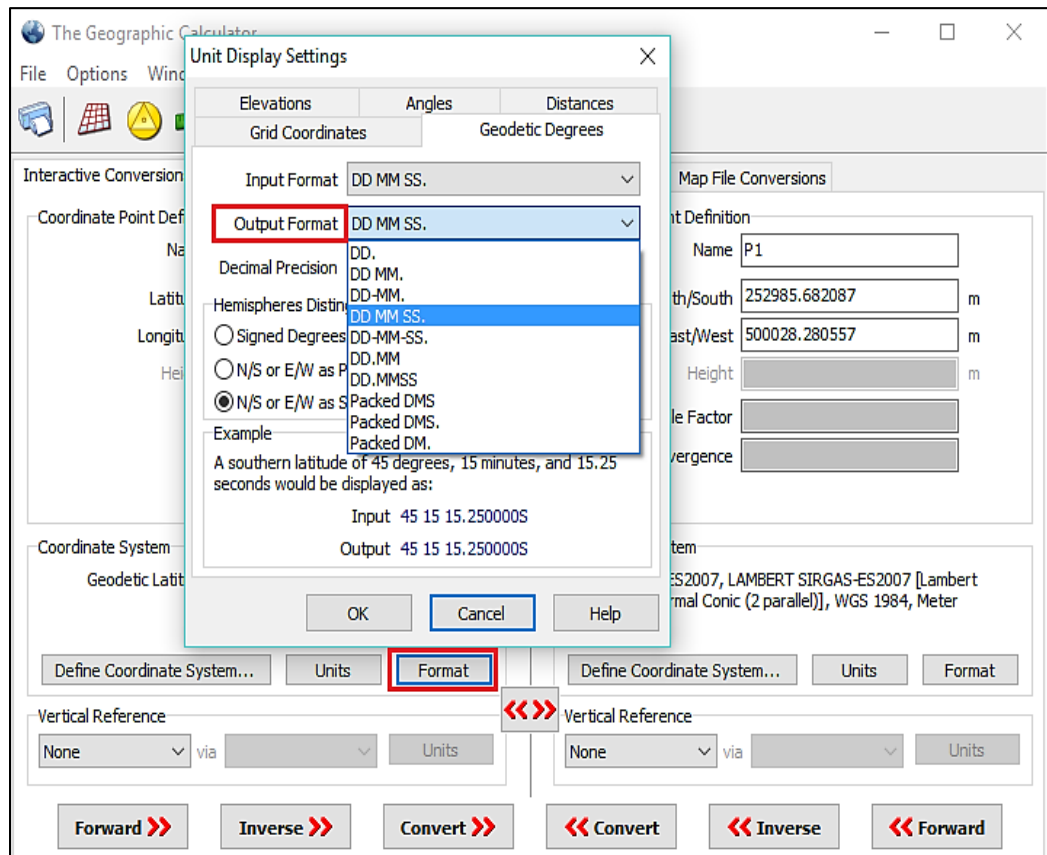
En el caso que se tenga coordenadas planas Lambert SIRGAS-ES2007 y se deseen conocer las coordenadas geográficas WGS-84 para ubicar sitios en navegadores o programas como Google Earth, únicamente basta hacer lo siguiente en el software alternativo The Geographic Calculator para transformación de coordenadas:

- Ingresar las coordenadas planas en la unidad indicada, en este caso metros, como se muestra en la figura:





- Verificar en la parte izquierda de la pantalla en la pestaña Formato, que las unidades de salida sean en formato sexagesimal:



- Pulsar el botón Convert del lado derecho y se obtienen las coordenadas geográficas WGS-84 del lado izquierdo:

The Geographic Calculator

File Options Window Help

Interactive Conversions Point Database Conversions Batch Point Database Conversions Map File Conversions

**Coordinate Point Definition**

Name	P1	
Latitude	13 23 49.999921N	deg
Longitude	88 59 59.000000W	deg
Height		m

**Coordinate System**

Geodetic Latitude / Longitude, WGS 1984, Degrees

Define Coordinate System... Units Format

**Vertical Reference**

None via Units

**Coordinate Point Definition**

Name	P1	
North/South	252985.682087	m
East/West	500028.280557	m
Height		m
Scale Factor		
Convergence		

**Coordinate System**

SIRGAS-ES2007, LAMBERT SIRGAS-ES2007 [Lambert Conformal Conic (2 parallel)], WGS 1984, Meter

Define Coordinate System... Units Format

**Vertical Reference**

None via Units

Forward >> Inverse >> Convert >> **<< Convert** << Inverse << Forward

## **CAPÍTULO IV**

### **SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)**

#### **4.1 Principios del GPS.**

En octubre de 1957 la URSS (Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas) realiza el lanzamiento del primer satélite artificial de la Tierra: el Sputnik I. Este evento marca el comienzo de la utilización del espacio con fines tecnológicos, el desarrollo la geodesia espacial y de los sistemas de posicionamiento satelital.

Posteriormente pudo observarse que determinando el corrimiento Doppler de las señales radiodifundidas por el Sputnik I, desde estaciones de posición conocidas, era posible establecer la órbita del satélite. Esto permitió el planteo inverso, es decir, si la órbita era conocida previamente, sería posible obtener la posición de un receptor en cualquier punto sobre de la Tierra.

Durante la década siguiente las investigaciones se orientaron a desarrollar y perfeccionar los métodos básicos de observaciones satelitales y de cálculo de órbitas encaminados a implementar sistemas de posicionamiento y determinación del campo de gravedad terrestre, lo que permitió crear el primer sistema de posicionamiento geodésico.

En diciembre de 1973 se realiza la implementación del programa NAVSTAR (Navigation and Satellite Timing and Ranging o Navegación y sincronización y distribución de satélites) GPS (Global Positioning System o Sistema de

Posicionamiento Global). El 22 de febrero de 1978 fue lanzado el primer satélite de una serie de cuatro. (Huerta, Mangiaterra y Noguera, 2005)

El GPS es un sistema espacial de navegación, desarrollado por el departamento de Defensa de los Estados Unidos de Norteamérica para satisfacer las necesidades de las fuerzas armadas (Figura 4.1) en lo que respecta a la determinación precisa de la posición, velocidad y tiempo en un sistema de referencia global, de forma permanente en cualquier lugar sobre la superficie de la Tierra y bajo cualquier condición meteorológica.



*Figura 4.1: Fuerzas armadas estadounidenses utilizando equipo GPS.*

El sistema fue concebido inicialmente para garantizar precisiones de  $\pm 10$  a  $\pm 15$ m en navegación para aplicaciones militares, precisiones en la determinación

de tiempos de 100 nanosegundos y velocidades con precisiones mejores de 0,1 m/s.

El sistema, en un principio era de uso militar, con limitado uso civil. En 1984 el presidente Ronald Reagan autorizó el uso civil del sistema GPS, concretamente para la resolución de problemas geodésicos.

En la actualidad, el uso civil de GPS ha sobrepasado largamente el uso militar, convirtiéndose de hecho en un servicio público de carácter mundial de enorme importancia y con innumerables aplicaciones.

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

“En el campo de la ingeniería civil, el G.P.S se ha convertido en una herramienta indispensable para profesionales y técnicos en la determinación de posiciones y realización de levantamientos topográficos con rapidez y precisión. Actualmente la tecnología existente permite manejar los datos obtenidos por medio de G.P.S. con programas de aplicación en las ramas de Ingeniería y Geodesia.” (Casanova, L. nd)

### **Principios de Funcionamiento.**

El sistema de posicionamiento global por satélite (GPS), se basa en la medición a partir de señales de radio transmitidas por un grupo de satélites artificiales

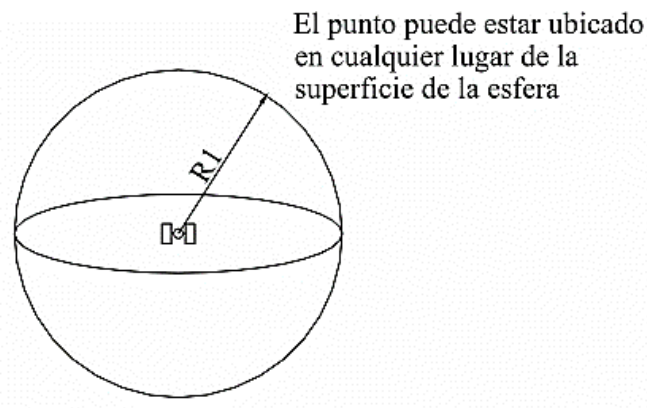
(mínimo 4), cuya órbita se conoce con precisión, captadas y decodificadas por receptores ubicados en los puntos cuya posición se desea determinar. Los principios de funcionamiento involucrados en las mediciones GPS son los siguientes:

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

### **Trilateración Satelital**

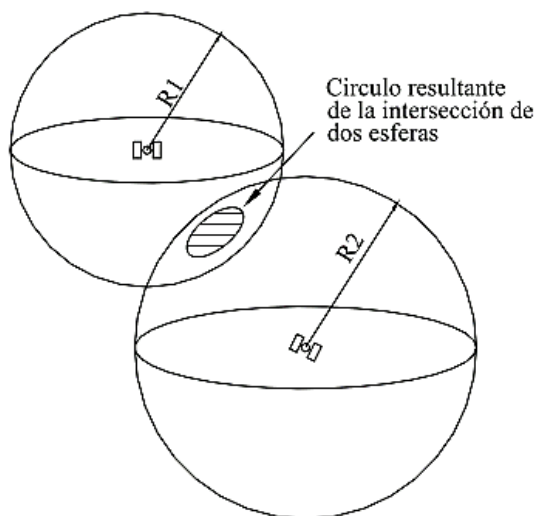
Los satélites del sistema de posicionamiento global se encuentran girando alrededor de la Tierra en órbitas predefinidas a una altura aproximada de 20,200 kilómetros, siendo posible conocer con exactitud la ubicación de un satélite en un instante de tiempo dado, convirtiéndose por lo tanto los satélites en puntos de referencia en el espacio.

Supongamos que un receptor en la Tierra capta la señal de un primer satélite determinando la distancia entre ambos. Esto solamente nos indica que el receptor puede estar ubicado en un punto cualquiera dentro de la superficie de una esfera de radio  $R_1$  (Figura 4.2).



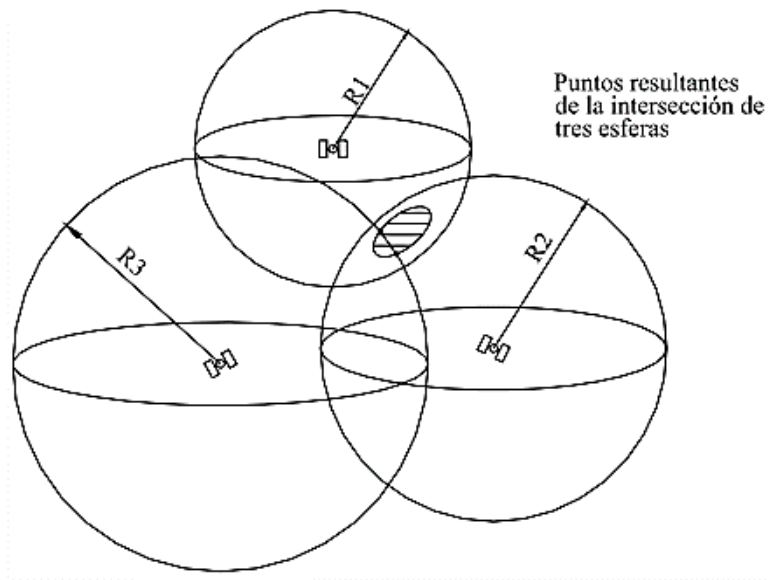
*Figura 4.2: Medición con GPS utilizando un solo satélite: esfera con centro en satélites y radio igual a la distancia hasta el receptor.*

Si medimos la distancia de un segundo satélite al mismo receptor se generará una superficie esférica de radio  $R_2$ , que al intersectarse con la primera esfera se formará un círculo en cuyo perímetro pudiera estar ubicado el punto a medir (Figura 4.3).



*Figura 4.3: Incorporación del segundo Satélite a la medición con GPS*

Si agregamos una tercera medición, la intersección de la nueva esfera con las dos anteriores se reduce a dos puntos sobre el perímetro del círculo descrito (Figura 4.4).



*Figura 4.4: Incorporación del tercer Satélite a la medición con GPS*

Uno de estos dos puntos puede ser descartado por ser una respuesta incorrecta, por estar fuera de espacio o por moverse a una velocidad muy elevada. De esta manera ya tendríamos la posición en 3D. Sin embargo, dado que el reloj que incorporan los receptores GPS no está sincronizado con los relojes atómicos de los satélites GPS, los dos puntos determinados no son precisos. Teniendo información de un cuarto satélite (Figura 4.5), eliminamos el inconveniente de la falta de sincronización entre los relojes de los receptores GPS y los relojes de los



satélites. Y es en este momento cuando el receptor GPS puede determinar una posición 3D exacta (latitud, longitud y altitud).

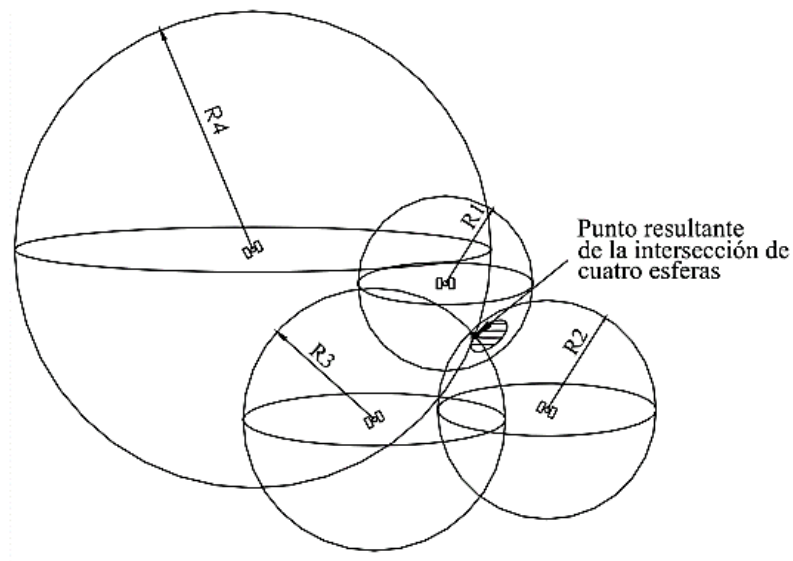


Figura 4.5: Incorporación del cuarto Satélite a la medición con GPS

### Medición de distancia desde los satélites

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

$$D = v \cdot t$$

D = distancia en kilómetros desde el satélite al punto considerado.

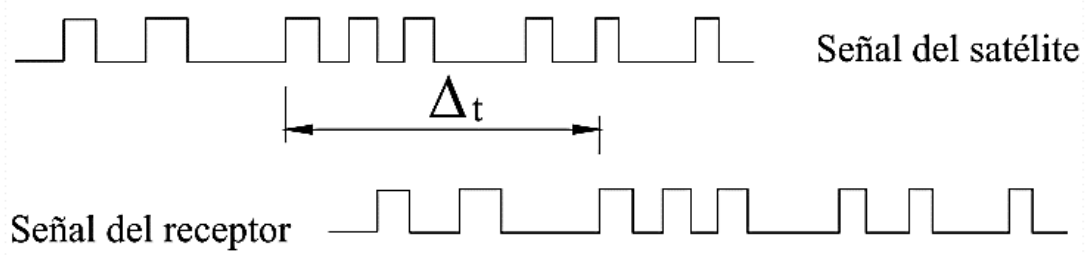
v = velocidad de la señal de radio, aproximadamente la velocidad de la luz.

v = 300, 000 km/s

$t$  = tiempo de viaje de la señal en segundos.

Para poder medir el tiempo de viaje de la señal, es necesario conocer el instante en que la señal parte del satélite. Esto se logra generando códigos pseudoaleatorios tanto en el satélite como en el receptor y sincronizando ambas señales de manera que sean generadas al mismo tiempo, luego, comparando las dos señales se mide el desfase en tiempo ( $\Delta t$ ) en que la señal del satélite y la del receptor generan el mismo código. El  $\Delta t$  representa el tiempo de viaje de la señal. Este proceso se esquematiza gráficamente en la Figura 4.6.

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



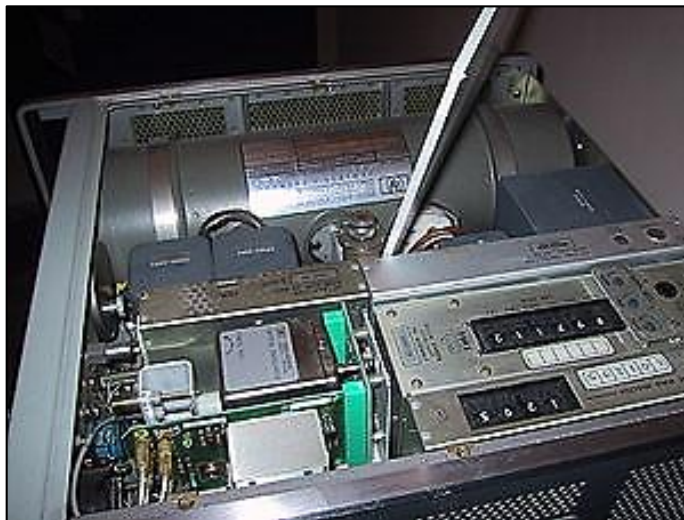
*Figura 4.6: Esquema de medición del tiempo de viaje de la señal*

### **Medición precisa del tiempo**

La medición del tiempo de viaje es una actividad difícil de realizar, debido a la gran velocidad de las señales de radio y a las distancias, relativamente cortas, a

la cual se encuentran los satélites de la Tierra, los tiempos de viaje son extremadamente cortos. El tiempo promedio que una señal tarda en viajar de un satélite orbitando a 20,200 kilómetros a la Tierra es de 0.067 segundos. Este hecho hace necesario la utilización de relojes muy precisos. “Los satélites portan relojes atómicos (Figura 4.7) con precisiones de un nanosegundo, pero colocar este tipo de relojes en los receptores sería muy costoso. Para solucionar este problema los receptores corrigen los errores en la medición del tiempo mediante una medición a un cuarto satélite.” (Casanova, L. nd)

La recepción de una señal extra permite que el receptor pueda calcular los errores producidos en la medición y comparación del tiempo y compensarlos, de ahí la necesidad de emplear cuatro satélites para la medición de nuestra posición, en lugar de tres como sería de esperar en un sistema tridimensional. Gracias a este "reloj atómico", los receptores pueden emplearse para algo más que el cálculo de posiciones.



*Figura 4.7: Reloj atómico.*

### **Conocimiento preciso de la órbita del satélite**

Como se ha mencionado previamente, existen 24 satélites operacionales en el sistema NAVSTAR (Navigation Satellite Timing and Ranging) orbitando la Tierra cada 12 horas a una altura de 20,200 kilómetros. Existen seis diferentes órbitas inclinadas aproximadamente  $55^\circ$  con respecto al ecuador.

Alrededor de cada uno de estos planos giran cuatro satélites que son monitoreados constantemente por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos. En la Tierra existen cinco estaciones de seguimiento y control: tres estaciones para la alimentación de datos y una estación de control maestro. La estación de control maestro calcula, con los datos de las estaciones de seguimiento, la posición de los satélites en las órbitas (efemérides), los coeficientes para las correcciones de los tiempos y transmiten esta información a los satélites.

### **Corrección de errores en la propagación de la onda**

Se ha supuesto hasta ahora que la velocidad de viaje de la señal GPS es conocida, la velocidad de la luz, pero esto sólo es cierto si viajase en el vacío. Como la señal atraviesa la atmósfera, tendrá retrasos por dos componentes: el producido por la Ionósfera y el producido por la Tropósfera.

Existen dos formas de atenuar estos errores; el primero mediante modelos de predicción de la variación de la velocidad en estos medios, con el inconveniente que son función de condiciones atmosféricas medias, y no todos los días tienen esas condiciones; y el segundo midiendo la variación de velocidad en dos frecuencias diferentes, esto se basa en que la desaceleración de una onda es inversamente proporcional al cuadrado de la frecuencia.

### **4.2 Conceptos Básicos.**

**GPS:** Es el sistema de posicionamiento global, es una constelación de satélites que gira alrededor de la Tierra que permite determinar en cualquier parte del mundo, a cualquier hora e independientemente de las condiciones climatológicas, las coordenadas de puntos sobre la superficie terrestre.

Los satélites llevan hasta cuatro relojes atómicos de cesio y rubidio, que se actualizan periódicamente desde una estación terrestre. Los satélites transmiten señales de sincronización y datos de posición.

Un receptor GPS, que puede ser un pequeño dispositivo de mano, decodifica las señales de tiempo de varios satélites, e interpreta los tiempos de llegada en términos de latitud, longitud y altitud con una incertidumbre que puede ser hasta 10 metros. En el modo diferencial, se pueden obtener precisiones de menos de un centímetro para distancias de cientos de kilómetros.

Este sistema fue desarrollado por el departamento de defensa de los Estados Unidos con fines militares y consta de una constelación de 24 satélites.

El Sistema GPS también llamado NAVSTAR está compuesto por tres Segmentos: el segmento espacial, el segmento de control y el segmento de usuario.

**1) Segmento Espacial:** Es el segmento compuesto por los satélites que forman el sistema, tanto de navegación como de comunicación. Mientras que los primeros orbitan alrededor de la Tierra, repartiéndose en distintos planos orbitales, los segundos son los que forman los llamados sistemas de aumento que sirven para la corrección de errores de posicionamiento.

**2) Segmento de Control:** Formado por el conjunto de estaciones en tierra que recogen los datos de los satélites. Este segmento es complejo en su definición, siendo propio de cada país o coalición de países, y estructurándolos en función de distintos criterios como más convenga.

**3) Segmento Usuario:** Formado por los equipos GNSS que reciben las señales que proceden del segmento espacial. Este dispositivo está formado por un conjunto de elementos básicos que son: antena receptora y receptor.

En la compleja estructura de funcionamiento de los sistemas GPS aparecen involucrados otros elementos que se definen a continuación:

**Satélite:** Son naves espaciales fabricadas en la tierra, enviadas en un vehículo de lanzamiento (un tipo de cohete que envía una carga útil al espacio exterior), y puesto en órbita alrededor de un cuerpo celeste, estos tienen una gran variedad de fines, científicos, tecnológicos y militares.

**Efeméride:** Conjunto de parámetros numéricos que describen las posiciones precisas de los satélites en función del tiempo.

**Efemérides transmitidas:** El usuario las recibe en el instante de observación, contenidas en la señal del satélite. Consisten en un conjunto de parámetros que permiten extrapolar la ubicación del satélite durante cuatro horas (2 horas antes y 2 horas después del tiempo de referencia). La estación de control maestra las envía al satélite y éste al usuario.

**Efemérides precisas:** Son calculadas a posteriori, por interpolación, considerando la efectiva posición de cada satélite obtenida mediante las observaciones efectuadas desde las estaciones de control. El usuario las puede

tener disponibles desde varias fuentes a través de Internet. Estas efemérides proporcionan coordenadas más precisas que las transmitidas.

**Almanaque:** Es la versión simplificada de las efemérides, permite calcular las coordenadas de los satélites en forma aproximada; su validez es de seis meses, aunque es recomendable su actualización semanal.

**Ventana:** Es el tamaño de la abertura del cielo despejado para la recolección de la información utilizando un equipo GPS.

**Máscara:** Es la menor elevación en grados a la que un receptor GPS puede seguir a un satélite.

**Reloj atómico:** Es un tipo de reloj que para alimentar su contador utiliza una frecuencia de resonancia atómica normal.

**Interfaz:** La conexión funcional entre dos sistemas, programas, dispositivos o componentes de cualquier tipo, que proporciona una comunicación de distintos niveles permitiendo el intercambio de información.

**Antena:** Es un dispositivo (conductor metálico) diseñado con el objetivo de emitir y/o recibir ondas electromagnéticas hacia el espacio libre. Una antena transmisora transforma energía eléctrica en ondas electromagnéticas, y una receptora realiza la función inversa.

**Señal:** Conjunto de ondas que van desde las ondas de mayor longitud a las de menor longitud.



**Onda Electromagnética:** Son aquellas ondas que no necesitan un medio material para propagarse. Incluyen, entre otras, la luz visible y las ondas de radio, televisión y telefonía. Todas se propagan en el vacío a una velocidad constante, muy alta (300 0000 km/s) pero no infinita.

**Frecuencia:** Es una magnitud que mide el número de repeticiones por unidad de tiempo de cualquier fenómeno o suceso periódico. Según el Sistema Internacional (SI), la frecuencia se mide en hercios (Hz), en honor a Heinrich Rudolf Hertz. Un hercio es la frecuencia de un suceso o fenómeno repetido una vez por segundo.

Al igual que la constelación NAVSTAR - GPS, Existen otras constelaciones de satélites importantes, las cuales se definen a continuación:

**GLONASS:** Es un Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) desarrollado por la Unión Soviética, siendo hoy administrado por la Federación Rusa y que constituye el homólogo del GPS estadounidense y del Galileo europeo. El sistema está a cargo del Ministerio de Defensa de la Federación Rusa y consta de una constelación de 31 satélites.

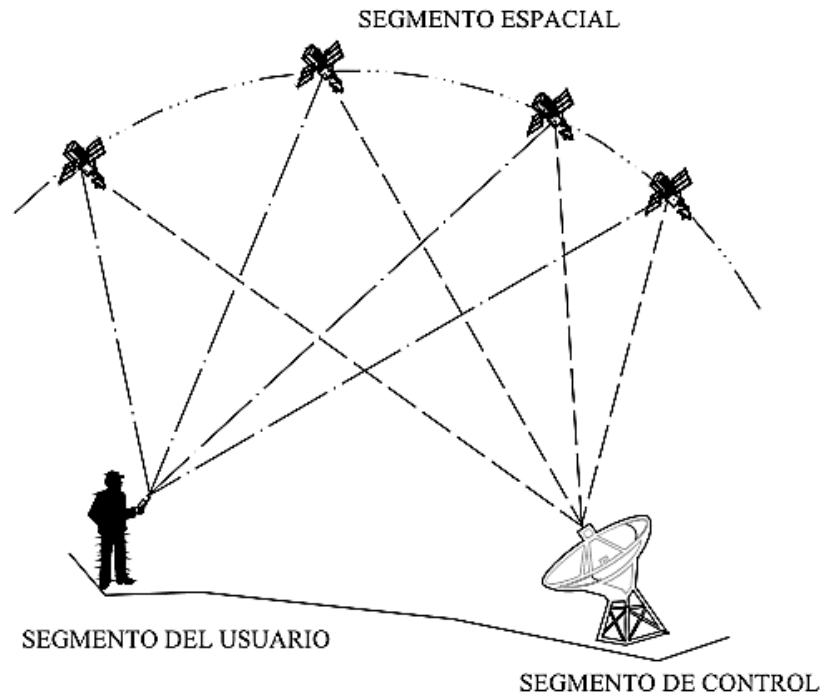
**GALILEO:** Es el programa europeo de radionavegación y posicionamiento por satélite, desarrollado por la Unión Europea (UE) conjuntamente con la Agencia Espacial Europea. Este programa dota a la Unión Europea de una tecnología independiente del GPS estadounidense y el GLONASS ruso. Al contrario de

estos dos, será de uso civil. El sistema se espera poner en marcha en 2020 después de sufrir una serie de reveses técnicos y políticos para su puesta en marcha.

**GNSS:** Sistema que combina la recepción de todas las constelaciones de satélites de navegación disponibles, tanto civiles como militares: GPS, GLONASS y el reciente Galileo. Es decir, el conjunto de sistemas capaces de dotar en cualquier punto y momento de posicionamiento espacial y temporal.

### **4.3 Organización del Sistema GPS**

Un sistema G.P.S. está compuesto por el segmento espacial conocido como la constelación NAVSTAR conformado por un conjunto de satélites, el segmento de control, conformado por estaciones de control máster y de alimentación y el segmento usuario constituido por los receptores, recolectores de datos y programas de aplicación o software (Figura 4.8).



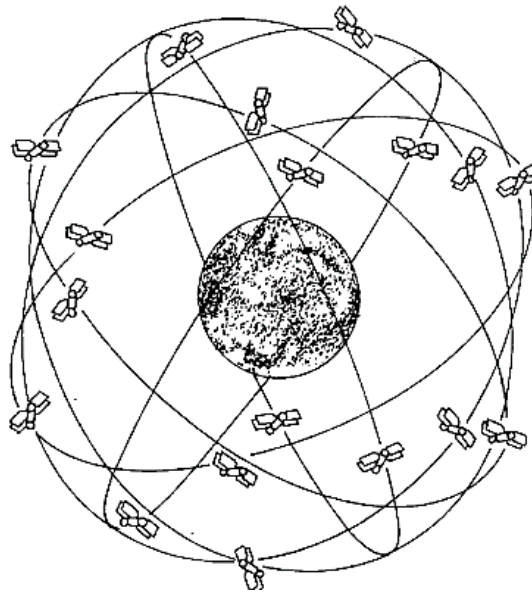
*Figura 4.8: Organización del Sistema GPS*

#### **4.3.1 Segmento Espacial**

Está constituido por los satélites de la constelación NAVSTAR. En la actualidad esta constelación está formada por 24 satélites que están distribuidos en 6 planos orbitales (cada uno de ellos con 4 satélites en una órbita prácticamente circular, a 20,180 Km de altitud. (Figura 4.9)). Estos 6 planos están igualmente espaciados entre sí en  $60^\circ$  y forman un ángulo de unos  $55^\circ$  con el plano definido respecto al ecuador.

La constelación NAVSTAR, así configurada, permite que sobre el horizonte de cualquier lugar de la Tierra puedan observarse simultáneamente entre 6 y 11

satélites (normalmente denominados SVs, o Space Vehicles), lo cual posibilita la continuidad de las observaciones durante las 24 horas del día.



*Figura 4.9: Constelación de satélites NAVSTAR del sistema GPS*

El ciclo orbital es de medio día exacto (a nivel astronómico) que son 12 horas sidéreas, equivalentes a 11 horas y 56 minutos en nuestra percepción temporal. La energía eléctrica que requieren para su funcionamiento la adquieren a partir de dos paneles compuestos de celdas solares adosadas a sus costados, con una superficie de  $7.25\text{m}^2$ . Cuando se desea determinar la posición, el receptor que se utiliza para ello localiza automáticamente como mínimo tres satélites de la red, de los que recibe unas señales indicando la identificación y la hora del reloj de cada uno de ellos.

### 4.3.2 Segmento de Control

La constelación NAVSTAR está controlada desde tierra a través de cinco estaciones oficiales de seguimiento repartidas por todo el planeta (Figura 4.10). Existe una estación central (la de Colorado Springs), y otras cuatro estaciones secundarias, en Hawaii, Ascensión, Diego García y Kwajalein.

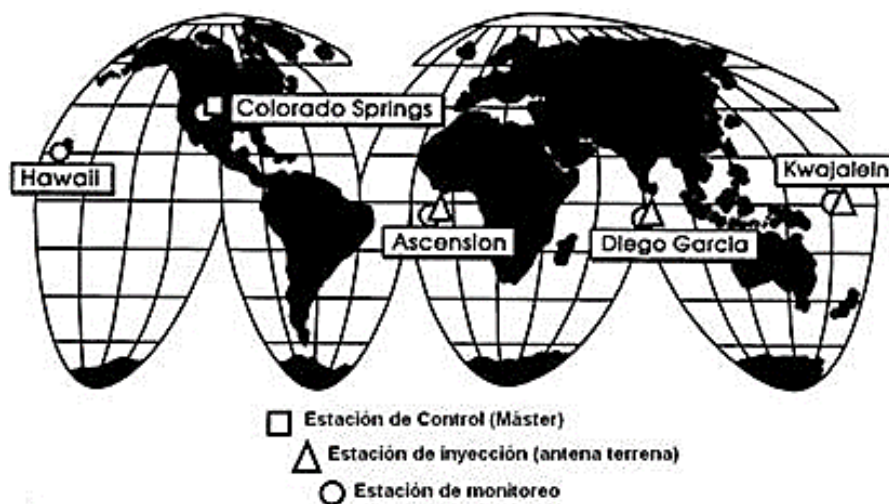


Figura 4.10: Estaciones de seguimiento del sistema GPS

La operación de las estaciones de control está a cargo del Comando Especial de la Fuerza Aérea de Estados Unidos.

Las estaciones de seguimiento, tal y como se observa en el mapa de la Figura 4.10, están espaciadas regularmente en longitud y sus coordenadas están determinadas con suma precisión. Su misión es la de estar en continua

comunicación con los satélites, recibiendo las señales emitidas por estos, para así poder determinar sus órbitas con gran exactitud.

Los datos recogidos por las estaciones secundarias son enviados a la principal, ahí son debidamente procesados, calculándose las efemérides, el estado de tiempos, etc. Toda esta información se transmite a los satélites en los cuales queda almacenada. Por tanto, es posible, desde tierra, determinar las posiciones exactas de cualquiera de los satélites GPS en un momento determinado.

Las funciones principales del segmento de control, denominado internacionalmente con las siglas OCS (Operational Control Segment) son:

- Monitoreo y control permanente de los satélites con el objeto de determinar y predecir las órbitas y los relojes de a bordo.
- Sincronización de los relojes de los satélites con el tiempo GPS
- Transmisión, a cada satélite, de la información procesada.

#### **4.3.3 Segmento Usuario.**

Está formado por los instrumentos que los usuarios necesitan para utilizar el sistema GPS de cara a la navegación, posicionamiento y control preciso de tiempos.

Un receptor GPS (Figura 4.11) se compone de una antena con un calculador, un reloj de precisión y un decodificador de mensajes. En el caso de un GPS

diferencial (DGPS), este se constituye de un receptor GPS, Un microprocesador para calcular los errores del sistema GPS y para generar la estructura del mensaje que se envía a los receptores, posee un canal de datos unidireccionales hacia los receptores, por lo cual necesita un transmisor (estación monitora) y un receptor que el usuario posee para recibir los datos.



*Figura 4.11: Receptor GPS con antena integrada.*

Los modernos equipos GPS son muy ligeros, tanto que todo el equipo necesario puede transportarse en un maletín (Figura 4.12), a excepción de otros elementos de mayores dimensiones como el trípode o el bastón de aplomar.



*Figura 4.12: Maletín que incluye todo el equipo GPS, desde el sensor y la unidad de control, hasta las baterías, cables, soportes, etc.*

Por medio de receptores GPS los usuarios pueden recibir señales e información de los satélites y con una computadora determinar las pseudo-distancias o sea la distancia a los satélites. El uso civil de la información que se obtiene de los satélites puede tener una variedad de aplicaciones como pueden ser: la construcción de infraestructura, navegación en general (terrestre, aérea y marina), levantamientos geodésicos (topográficos y cartográficos), geodinámica y geofísica, etc.



#### 4.4 Señales y Frecuencias GPS

En GPS la medición es de vía única, es decir no hay reflexión, ya que la señal se envía desde el satélite hacia el receptor. Debe medirse el tiempo necesario para que la señal recorra la distancia satélite - receptor. Puesto que se trata de medir tiempos es necesario contar con “relojes” adecuados tanto en los satélites como en el receptor. En realidad, son instrumentos que distan mucho de la noción usual de reloj. Se trata de osciladores de frecuencias muy estables capaces de señalar medidas de tiempo del orden de  $10^{-13}$  segundos (ó  $10^{-14}$ ) en los satélites y  $10^{-8}$  segundos en los receptores.

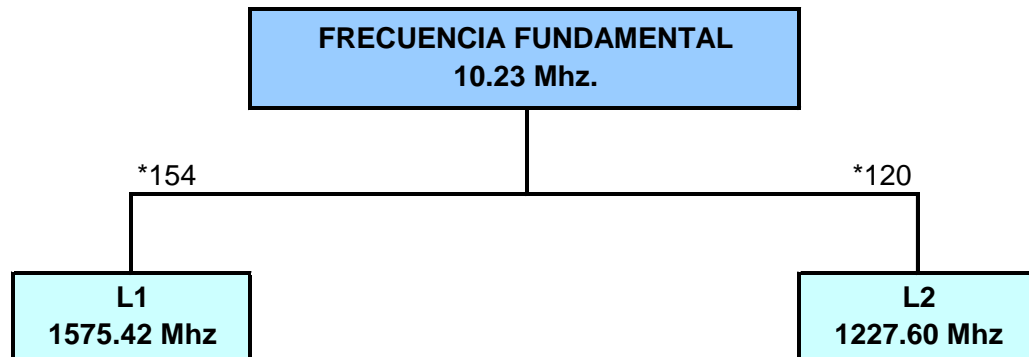
Los satélites transmiten una señal de radiofrecuencia, PRN (ruido pseudo aleatorio), formada por ondas electromagnéticas que viajan a la velocidad de la luz (300,000 Km/seg).

Las señales están compuestas de tres partes: La frecuencia portadora, los mensajes de navegación y los códigos de modulación.

- **La frecuencia portadora:** Las señales de GPS se han transmitido tradicionalmente en dos frecuencias de la radio de banda que el IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) denomina L. Estas dos frecuencias se denominan L1 y L2, y se derivan de una frecuencia común (Figura 4.13).

$$f_0 = 10.23 \text{ MHz}$$

$$f_{L1} = 154f_0 = 1575.42 \text{ MHz y } f_{L2} = 120f_0 = 1227.60 \text{ MHz.}$$



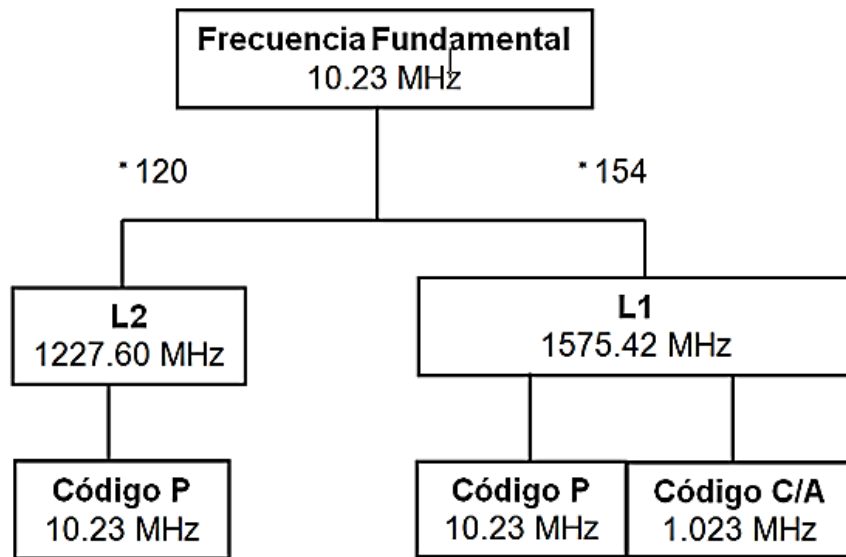
*Figura 4.13: Derivación de Frecuencias Portadoras, L1 y L2, de la frecuencia fundamental.*

- **Mensaje de Navegación:** Es un código que contienen información acerca de las órbitas satelitales, información de las coordenadas de los satélites (Efemérides), datos del Almanaque y parámetros Ionosféricos; esta información se envía a todos los satélites desde las estaciones del segmento de control del GPS. Este código es transmitido en ambas frecuencias portadoras, L1 y L2.
- **Códigos de Modulación:** La señal GPS contiene un código o secuencia que ensancha el espectro más allá de lo que le correspondería de acuerdo a la información que transporta; este código tiene la forma de un pseudoruido, que modula la frecuencia portadora de tal forma que aumente el ancho de banda de la transmisión y reduzca la densidad de potencia espectral (es decir, el nivel de potencia en cualquier frecuencia dada); la señal resultante tiene un espectro muy parecido al del ruido, de

tal forma que a todos los radiorreceptores les parecerá ruido menos al que va dirigida la señal; este tipo de modulación se conoce como DS-CDMA (acceso múltiple por división de código en secuencia directa); cada satélite utiliza dos de estos códigos:

**El código C/A (Course/Acquisition):** También denominado S (Standard), es el de menor frecuencia (utiliza la frecuencia fundamental dividida por 10, es decir, 1.023 MHz). En principio es el que ofrece menores precisiones y se utiliza en el llamado SPS (Standard Positioning Service, o Servicio de Posicionamiento Standard), para uso civil. Se transmite sobre la frecuencia portadora L1 (Figura 4.14).

**El código P (Precise):** Se transmite directamente a la frecuencia fundamental (10.23 MHz), ofrece mayor precisión y se utiliza en el denominado posicionamiento preciso (PPS, Precise Positioning Service). Se transmite sobre las frecuencias portadoras L1 Y L2 (Figura 4.14).



*Figura 4.14: Relación entre la frecuencia fundamental, las frecuencias portadoras y los códigos de modulación.*

En conclusión:

- Cada satélite cuenta con un código C/A diferente, lo que genera una modulación específica de la señal, propia y exclusiva de ese satélite.
- De tal modo se obtiene un PRN (ruido pseudo aleatorio) distintivo de ese satélite.
- Si se quiere hacer una analogía gráfica podríamos decir que es un “dibujo” característico de ese satélite. Pero, además, ese “dibujo”, va asociado al tiempo; se repite cada milisegundo y le corresponde un instante determinado para comenzar cada repetición; ese instante no puede ser cualquiera, debe ser común a todo el sistema.

Las señales GPS se emiten en un ancho de banda superior al necesario para transmitir información, con el propósito de obtener precisiones altas en el tiempo

real requerido para la navegación; amortiguar la cantidad de interferencia que son producidas actualmente y con esto asegurar que la conexión receptora (Usuario en tierra) y transmisor (satélite) pueda ser la más estable posible. El hecho de que el ancho de banda sea superior al necesario para transmitir información hace que las señales GPS sean de amplio espectro.

#### **4.5 GPS Navegadores y Geodésicos.**

Los receptores GPS son los aparatos encargados de recibir e interpretar las señales y frecuencias de los satélites en órbita. Los receptores disponibles en el mercado son de uso civil han sido desarrollados para cubrir la más diversas posibilidades de aplicación en sistema GPS, es decir, el uso de estos aparatos va desde la gama de receptores de mano y dispositivos de navegación personal, hasta herramientas de precisión topográfica. Siendo la principal diferencia entre los distintos equipos GPS, la precisión que permiten alcanzar. Los receptores se pueden clasificar en:

- 1) Receptores de navegación.
- 2) Receptores de una frecuencia.
- 3) Receptores de doble frecuencia.

##### **Receptores de Navegación.**

Son receptores GPS usualmente pequeños y portátiles (Figura 4.15), capaces de procesar únicamente código C/A y mostrar en sus pantallas coordenadas

geodésicas WGS-84 y una elevación elipsoidal, aunque existen navegadores que pueden configurarse a sistemas locales.

Son dispositivos muy sencillos de manipular y de bajo costo, no aptos para el uso de las técnicas GPS diferenciales, ya que la precisión que estos consiguen es por debajo de los 10 metros. Algunos tienen la característica que permiten almacenar los datos observados, facilitando en gran manera su posterior proceso. Pero actualmente estos dispositivos se ven opacados por el auge de los teléfonos inteligentes, ya que permiten instalar aplicaciones para navegar y localizar distintos lugares en todo el mundo con precisiones similares a las de un receptor GPS portátil.



*Figura 4.15: Receptores GPS de Navegación.*

### **Receptores de GPS de una frecuencia.**

También conocidos como receptores GPS geodésicos de una frecuencia. Son dispositivos de posicionamiento que operan en modo diferencial, es decir, con

dos receptores al mismo tiempo; uno conocido como BASE y el otro como ROVER o MOVIL (Figura 4.16). Se dice que son de monofrecuencia debido a que estos receptores procesan la señal de código y reciben únicamente la onda portadora L1, la precisión aumenta considerablemente respecto a los anteriores alcanzando hasta el orden del centímetro, lo que nos permite utilizarlo en aplicaciones topográficas. Otras de las características que poseen este tipo de receptores son:

- Llegan a precisiones submétricas en distancias de 5 km a 10 km entre los dos receptores.
- Tiempos altos de observación.
- Con o sin opción RTK.
- Utilizado en trabajos topográficos como densificaciones de redes, apoyos fotogramétricos, levantamiento de puntos.



*Figura 4.16: Receptor BASE y MOVIL de GPS geodésico de una frecuencia.*

### **Receptores de GPS de doble frecuencia.**

También llamados receptores geodésicos de doble frecuencia (Figura 4.17), son dispositivos que poseen similares características al anterior, estos procesan la señal de código, así como ambas portadoras L1 y L2, logrando corregir ciertos errores, especialmente aquellos que se refieren a la dispersión de la señal en la ionósfera.

Trabajan en tiempo real o en post proceso alcanzando precisiones del orden de  $5\text{mm} \pm 1\text{ppm}$  y disminuyendo los tiempos de observación.

Se utilizan en redes topográficas y geodésicas, redes de control de deformaciones y control fotogramétrico, con tiempos de observación más cortos que en el caso anterior y distancias mayores de 20 km.



*Figura 4.17: Receptor GPS geodésico de Doble Frecuencia.*



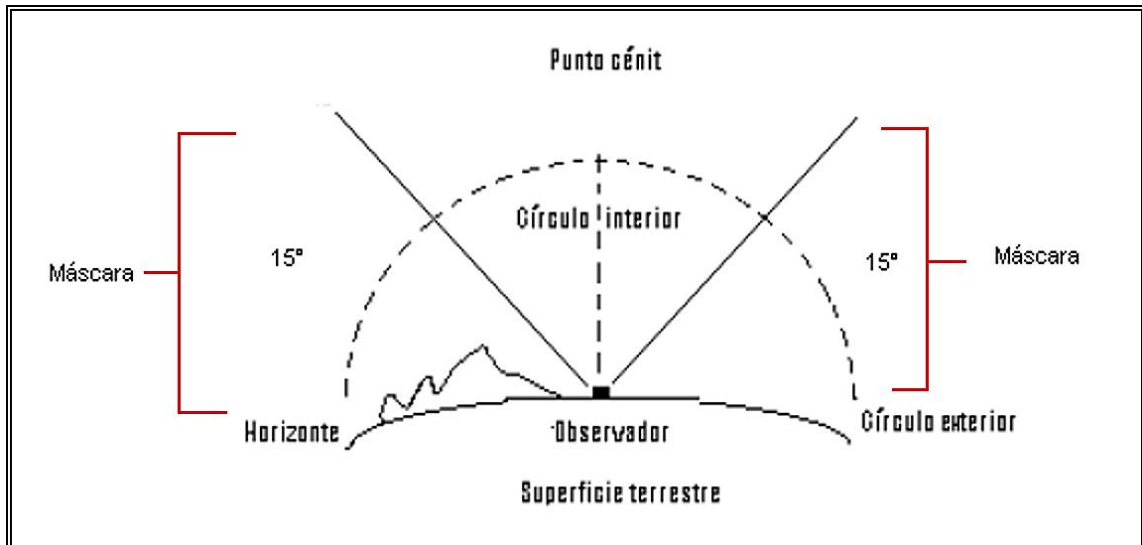
## **4.6 Ventana y Máscara.**

Al realizar observaciones con dispositivos GPS es importante conocer algunos parámetros de configuración, que nos ayudan a evitar señales erróneas y obtener mediciones de mejor calidad. Existen dos parámetros que son de gran relevancia y que en su mayoría los usuarios desconocen, como es ventana y máscara, dichos términos se definen a continuación.

### **Máscara**

Se define como máscara al ángulo de elevación respecto al horizonte que tendrán los satélites para que recibamos señal de estos, es decir, la menor elevación en grados a la que un receptor puede seguir un satélite. (Figura 4.18)

Este ángulo se programa en el receptor y se fija normalmente a  $15^{\circ}$  (Valor mínimo) cumpliéndose dicho ángulo en los cuatro puntos cardinales, para evitar los efectos atmosféricos y la interferencia causado por objetos cercanos y los efectos de multi-trayectoria de la onda; cuando la onda de la señal sufre reflexiones, rebota contra objetos (Edificios, árboles etc.) antes de llegar al receptor. La Máscara se puede modificar en el post proceso y se puede hacer tantas veces hasta encontrar los mejores resultados.



*Figura 4.18: Mascara de elevación para recibir señales de los satélites.*

## Ventana

Se define como ventana de observación al tamaño de la abertura del cielo despejado para la recolección de la información, la ventana se mide en grados y generalmente se designa un valor de  $150^\circ$ . (Figura 4.19).

En dicho espacio, para lograr medir con los dispositivos GPS deben encontrarse un mínimo de 4 satélites con una elevación mayor a 15 grados. Para efectuar levantamientos GPS de alta precisión, es recomendable realizar las mediciones con buenas ventanas garantizando que las señales emitidas por los satélites no sean interferidas. Es importante al momento de planificar una medición con GPS no olvidar establecer una ventana adecuada para la técnica de medición que se pretende emplear, ya que pueden existir variaciones en relación a las condiciones ideales de una respecto a la otra.

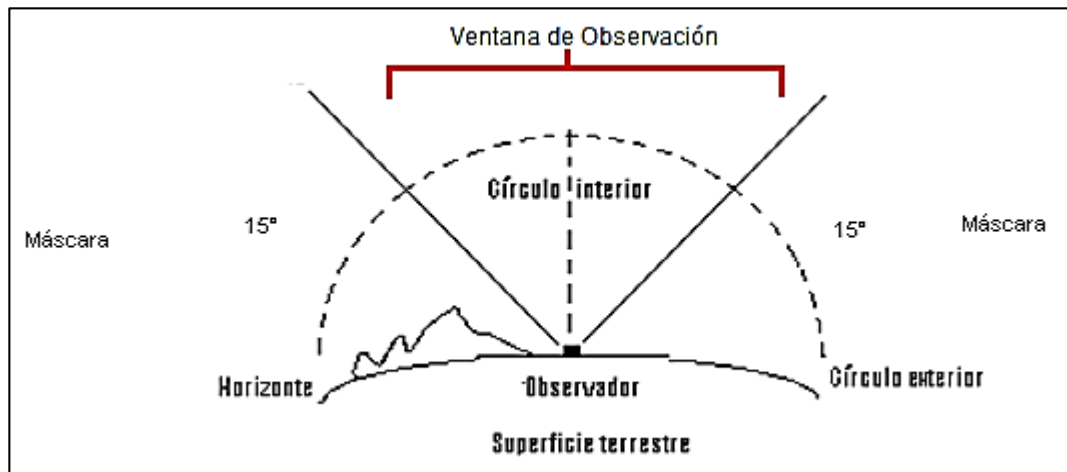


Figura 4.19: Ventana de observación al medir con equipos GPS.

#### 4.7 Precisiones con GPS

La precisión del posicionamiento con GPS varía desde 1 centímetro hasta unos metros, dependiendo del equipo y las técnicas de medición utilizadas.

Es importante mencionar que la precisión obtenida en la determinación de las coordenadas horizontales es de dos a cinco veces mayor que la determinación en la coordenada vertical o cota, pues se sabe que las elevaciones son elipsoidales y no ortométrica al instante de medir.

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

- Equipo receptor
- Planificación y procedimiento de recolección de datos
- Tiempo de la medición

- Programas utilizados en el procesamiento de datos.

También cada trabajo que se pretenda realizar con GPS exige una precisión determinada, por ejemplo, solo para guiarse al momento de viajar en un vehículo basta utilizar navegadores, y proyectos como navegación espacial, marítima o terrestre, topografía, observación de embalse hidráulico, tectónica de las placas exigen precisiones de algunos milímetros y centímetros.

Existen dos tipos de exactitudes, la absoluta y la diferencial. En cuanto a la exactitud absoluta, utilizando el Servicio Estándar de posicionamiento (SPS) se pueden obtener exactitudes en el orden de 20 m. Si se usa el Servicio Preciso de Posicionamiento (PPS), o código P se pueden obtener exactitudes entre 5 y 10 m.

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

#### **4.8 Archivos RINEX**

Son las siglas en inglés de Receiver INdependent EXchange, que significa Receptor Independiente de Intercambio. Se trata de un formato de ficheros de texto orientado a almacenar, de manera estandarizada, medidas proporcionadas

por receptores de sistemas de navegación por satélite, como GPS, GLONASS y Galileo.

RINEX es el formato estandarizado que permite la gestión y almacenamiento de las medidas generadas por un receptor, así como su uso posterior por una gran cantidad de aplicaciones informáticas, independientemente de cuál sea el fabricante tanto del receptor como de la aplicación.

La primera versión de RINEX fue desarrollado por el Instituto Astronómico de la Universidad de Berna para facilitar el intercambio de los datos GPS que se recogieron durante la primera gran campaña europea de GPS EUREF 89, que involucró a más de 60 receptores GPS de 4 diferentes fabricantes.

Esta primera versión del RINEX solamente era capaz de transformar los datos de posicionamientos estáticos. Posteriores versiones incluyeron el resto de posicionamientos (estático-rápido, pseudocinemático y cinemático). La versión RINEX 2.0 es presentada en septiembre de 1990, en una reunión de especialistas en el tema realizada en Ottawa, Canadá; resultando ser una versión abierta a futuras modificaciones, como la de 1993 que incluye un pequeño cambio en los datos tomados bajo el Antispoofing, es decir, se obtenían datos seguros y confiables, y la de inclusión de archivos de la constelación rusa GLONASS en principios del año 1997. La NGS (National Geodetic Survey) es la institución que forma parte de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), que ha actuado como coordinador de la normalización de este formato.

**Base del formato RINEX.**

La base del RINEX parte del hecho que la mayoría del software para GPS emplea los siguientes observables:

- La medida de la portadora en una o dos frecuencias (L1 o L1 y L2).
- La medida de pseudodistancia (código), equivalente a la diferencia del tiempo de recepción y el tiempo de transmisión (expresado en el tiempo del satélite) de una señal de satélite distinta.
- El tiempo de observación, la lectura del reloj del receptor en el instante de validez de la fase portadora y / o las mediciones de código.

Consecuentemente la mayoría de la información que recogen los receptores es innecesaria, pues únicamente con estos tres observables y alguna información adicional relativa al estacionamiento del dispositivo como altura de la antena, nombre de la estación, etc. sería suficiente. Por lo general, el software asume que el tiempo de observación es válido tanto para la fase como para el código y para todos los satélites observados.

RINEX es un archivo de intercambio de información y cumple con la mayoría de los requerimientos que demanda un fichero de intercambio, como información únicamente necesaria, fácilmente transportable entre los diversos sistemas operativos, no redundancia de datos y la posibilidad de agregar nuevas observaciones, pero no satisface un aspecto fundamental: el gran tamaño de sus ficheros.

### **Formato de Archivos RINEX.**

El formato RINEX se compone de la creación de cuatro tipos de archivos para su versión 2.0 y en adelante. Estos cuatro tipos son:

- El fichero de los datos de observación
- El fichero de datos meteorológicos.
- El fichero con el mensaje de navegación
- El fichero del mensaje de navegación del sistema GLONASS.

En las primeras versiones únicamente se disponía de dos ficheros, el de observación y el de navegación.

La grabación de estos archivos tiene un máximo de 80 caracteres por línea, facilitando así una fácil inspección del archivo en su visualización en la pantalla del ordenador, además cada fichero se compone de una cabecera y de una sección de datos.

La cabecera contiene la información general del fichero como puede ser la relativa a la estación, el receptor o la antena. La sección de datos contiene los datos referentes al tipo de archivo. Los datos de observación y meteorología son creados para cada sesión y lugar, mientras que el mensaje de navegación es independiente de estos.

La nomenclatura de un fichero RINEX sigue la estructura “xxxxpppz.yyt”, donde los primeros cuatro caracteres establecen la identificación de la base, los tres siguientes indican el día del año (365 días), y el octavo carácter indica el número de sesión. Los dos primeros caracteres de la extensión se corresponden con el año actual y el último denota el tipo de fichero (n: navegación GPS, o: observación, g: navegación GLONASS, L: Galileo, p: Archivo de mensajes de navegación GNSS mixto, c: archivo de reloj) (Figura 4.20).

Nombre	Fecha de ...	Tipo	Tamaño
00351500.17m	30/5/2017 ...	Archivo 17M	1 KB
00351500.17n	30/5/2017 ...	Archivo 17N	18 KB
00351500.17o	30/5/2017 ...	Archivo 17O	404 KB
00431500.17m	30/5/2017 ...	Archivo 17M	1 KB

```

2.11 OBSERVATION DATA G (GPS) RINEX VERSION / TYPE
GPP.DLL V3.01 30 - MAY - 17 21:28 PGM / RUN BY / DATE
P-3 MARKER NAME
MARKER NUMBER
OBSERVER / AGENCY
HERNAN REC # / TYPE / VERS
201130035 ProFlex500 s608Gt23 ANT # / TYPE
NONE ASH111661 APPROX POSITION XYZ
95859.3314 -6197853.2760 1500268.5847 ANTENNA: DELTA H/E/N
1.6540 0.0000 0.0000
9 L1 L2 C1 P1 P2 D1 D2 S1 S2# / TYPES OF OBSERV
15 LEAP SECONDS
2017 5 30 17 29 15.0000000 GPS TIME OF FIRST OBS
2017 5 30 18 38 45.0000000 GPS TIME OF LAST OBS
END OF HEADER

4 1
1.0000 0.0000 0.0000 ANTENNA: DELTA H/E/N
17 5 30 17 29 15.0000000 0 9G11G09G07G01G23G08G28G30G17
110303493.901 7 85950771.39345 20990056.520 20990056.280 20990052.760
747.562 582.518 48.000 38.000
109599696.505 7 85402360.14446 20856129.042 20856128.942 20856127.802
-1429.015 -1113.514 50.000 42.000
110873807.892 8 86395174.55845 21098584.080 21098584.120 21098580.420
2056.186 1602.223 52.000 38.000
115604785.044 7 90081650.45844 21998859.094 21998859.434 21998860.074

```

Figura 4.20: Archivos RINEX con diferentes extensiones y vista de un archivo con el fichero de observación.



**El fichero de observaciones.**

En el fichero de datos de la observación la pseudodistancia se mide en Metros. Se aceptan tres tipos de pseudodistancias, la C1 (código C/A o estándar sobre la frecuencia L1), la P 1 (código P o Precise en L 1) y la P 2 (código P en L2) (Figura 4.20).

**Los ficheros de navegación.**

El fichero con el mensaje de navegación contiene los datos de orbitales, los parámetros del reloj y la precisión de las medidas de pseudodistancia de los satélites observados.

**El fichero de datos meteorológicos.**

Por último, el fichero de datos meteorológicos fue definido para la versión 2 en delante de RINEX y su función es la de simplificar la exportación y procesamiento de datos meteorológicos recogidos por los observatorios. Contiene datos como la presión atmosférica en milibares, la temperatura seca y húmeda en grados Celsius y la humedad relativa. Cada fichero contiene los datos de una estación.

**El fichero de navegación del sistema GLONASS.**

Los últimos cambios efectuados en los ficheros RINEX están relacionados con la inclusión de observaciones procedentes de la constelación GLONASS, posibilitando ficheros mixtos, y a un nuevo tratamiento que se da a las mediciones bajo Antispoofing. Una de las variaciones más relevantes de la inclusión del

sistema GLONASS es la creación de un nuevo fichero de navegación para dicho sistema, siendo como ya se ha comentado, cuatro los archivos que se generan.

Actualmente se maneja la versión 3.0 de los RINEX, los cuales mantienen características similares a los anteriores, además El formato de RINEX versión 3.00 consta de tres tipos de archivos:

- Archivo de datos de observación
- Mensaje de navegación
- Archivo de datos meteorológicos.

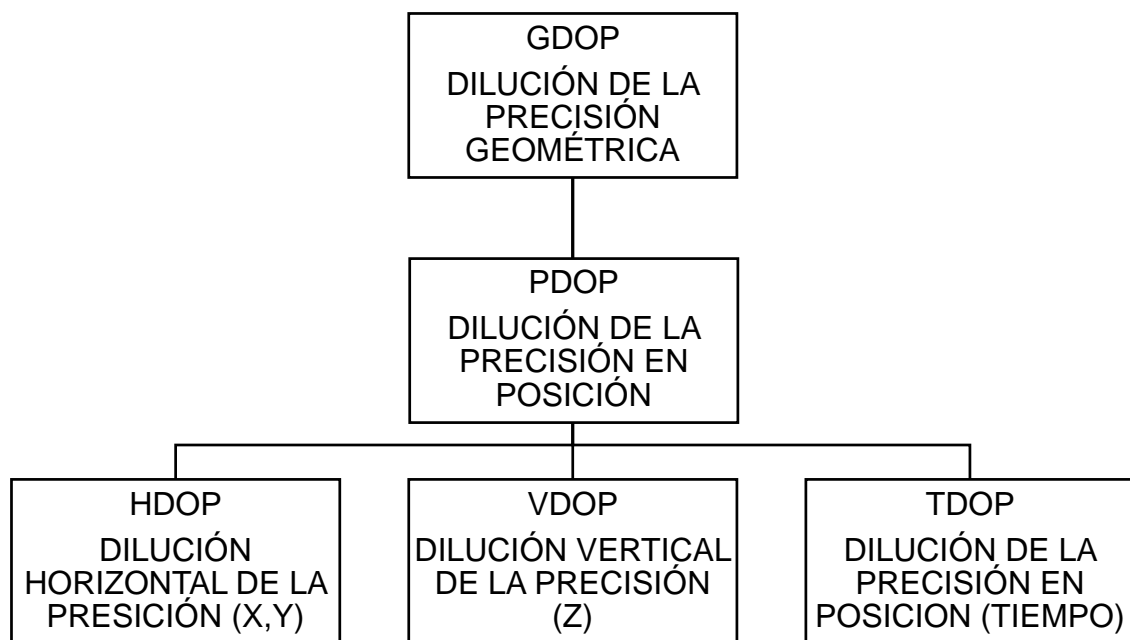
Cada tipo de archivo consta de una sección de encabezado y una sección de datos. La sección de encabezado contiene información global para todo el archivo y se coloca al principio del archivo.

El formato se ha optimizado para requisitos mínimos de espacio independientes del número de diferentes tipos de observación de un receptor específico o sistema satelital, indicando en la cabecera los tipos de observaciones a almacenar para un receptor y que se han observado los sistemas de satélite. En los sistemas informáticos que permiten longitudes de registros variables, los registros de observación pueden mantenerse lo más cortos posible. Los espacios en blanco de arrastre se pueden eliminar de los registros. No hay una limitación de longitud de registro máxima para los registros de observación.

#### 4.9 Análisis de términos GDOP y PDOP

La Dilución de la Precisión (DOP) es una medida de la fortaleza de la geometría de los satélites y está relacionada con la distancia entre los satélites y su posición en el cielo. El DOP puede incrementar el efecto del error en la medición de distancia a los satélites.

La dilución de la precisión (DOP) se estructura de la siguiente manera:



Se puede encontrar diferentes tipos de Dilución de la Precisión.

**VDOP:** Degradación de la exactitud en la dirección vertical.

**HDOP:** Degradación de la exactitud en la dirección horizontal.

**PDOP:** Degradación de la exactitud en posición 3D (tiempo).

**GDOP:** Degradación de la exactitud en posición 3D y en tiempo.

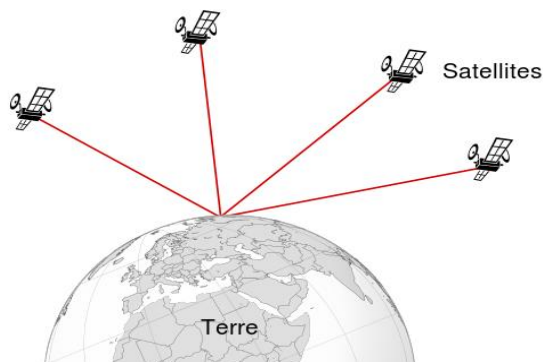
Los términos antes mencionados están directamente relacionados con la geometría satelital, para el caso de GDOP que corresponde a una pérdida de precisión durante la observación, debido a una mala geometría satelital, a partir de ello se derivan el PDOP que a su vez se divide en HDOP, VDOP y TDOP.

El valor más importante es el GDOP, pues se trata de una combinación de resto. Cabe destacar que es importante conservar una buena distribución de satélites, y eliminar aquellos cuya elevación sea poca, pues influirán bastante a la hora de introducir fuentes de error.

### **Geometría Satelital.**

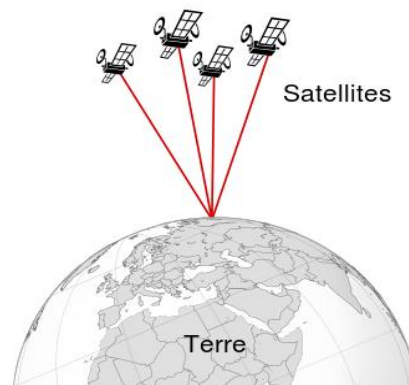
Si bien es conocido, para obtener posiciones confiables a partir de GPS, se necesita como mínimo de 4 satélites bien distribuidos en el espacio, de manera que la geometría sea buena.

Cuando los satélites están bien distribuidos (Figura 4.21), la posición se determina en un área menor y el margen de error posible es mínimo.



*Figura 4.21: Buena geometría satelital.*

Cuando los satélites están muy cerca unos de otros (Figura 4.22), el área de encuentro también aumenta, de manera que se incrementa la incertidumbre de la posición.



*Figura 4.22: Mala geometría Satelital*

Una forma de controlar los errores por geometría satelital es a través de los valores de PDOP, que es un número adimensional que viene por defecto en los colectores GPS de forma que, si el PDOP es mayor a cierto valor, los resultados de la medición no se guardaran y si son menores a dicho valor, se guarden.

El PDOP recomendado es  $PDOP \leq 6$ , lo cual significa que entre menor es el valor del PDOP, mejor es la geometría satelital que se tiene y por ende mayor será la precisión de las mediciones con GPS.

#### **4.10 Fuentes de Errores con GPS**

Las fuentes de error posibles pueden deberse a los satélites, al medio de propagación de la señal o a los receptores. Se destacan las siguientes:

**Disponibilidad Selectiva (SA):**

Este concepto de Disponibilidad Selectiva (SA), consiste en alterar intencionadamente la señal de los satélites para controlar el uso civil del sistema. Era aplicado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos a la señal GPS, sometiendo a los relojes del satélite a un proceso conocido como "dithering" (dispersión), que altera ligeramente el tiempo. Y alterando la transmisión de las efemérides (o la trayectoria que seguirá el satélite). El factor SA afectaba a los usuarios civiles que utilizaban un solo receptor GPS para obtener una posición absoluta. Los usuarios de sistemas diferenciales no se veían afectados de manera significativa por este efecto.

El resultado final supone una degradación en la precisión de la posición, y si bien el efecto SA está desactivado desde el 1 de mayo de 2000, deberá tenerse en cuenta de nuevo en el caso de que volviera a activarse

**Anti-Spoofing (Anti Espionaje AS)**

Es una distorsión intencionada del código P. Ha sido concebido con la idea de no permitir que otros usuarios tengan acceso al código P de la señal GPS, obligándoles a emplear el código C/A. El efecto Anti-spoofing encripta el código P en una señal conocida como código Y. Sólo los usuarios con receptores GPS militares (EEUU y sus aliados) pueden descifrar el código Y. Los receptores militares son más precisos porque no utilizan el código C/A para calcular el tiempo

que tarda en llegar la señal desde el satélite al receptor GPS. Únicamente emplean el código P.

El código P modula a la portadora con una frecuencia de 10,23 Hz., mientras que el código C/A lo hace a 1,023 Hz. Las distancias se pueden calcular con mayor precisión empleando el código P, ya que este se transmite 10 veces más por segundo que el código C/A.

Los usuarios de receptores GPS militares generalmente obtendrán precisiones del orden de 5 metros, mientras que los usuarios de equipos GPS civiles equivalentes únicamente alcanzarán precisiones de 10 metros sin SA, o un poco mejores.

### **Error de la Ionosfera**

La ionosfera es la región de la atmósfera que se sitúa aproximadamente entre 50 y 1000 kilómetros sobre la superficie de la tierra. Posee la particularidad de que los rayos ultravioletas procedentes del sol ionizan las moléculas de gas que allí se encuentran liberando electrones, produciendo de esta forma una dispersión no lineal en las ondas electromagnéticas enviadas por los satélites (Figura 4.23). Cada onda se desacelera en un ritmo inversamente proporcional al cuadrado de su frecuencia.

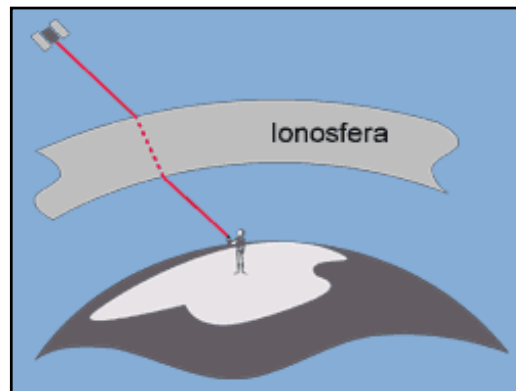


Figura 4.23: Error de la Ionosfera

### Error de la Tropósfera

Estos errores se cometen cuando se produce una refracción de las ondas según las distintas condiciones meteorológicas de temperatura, presión y humedad relativa del aire, que encuentra a su paso (Figura 4.24).

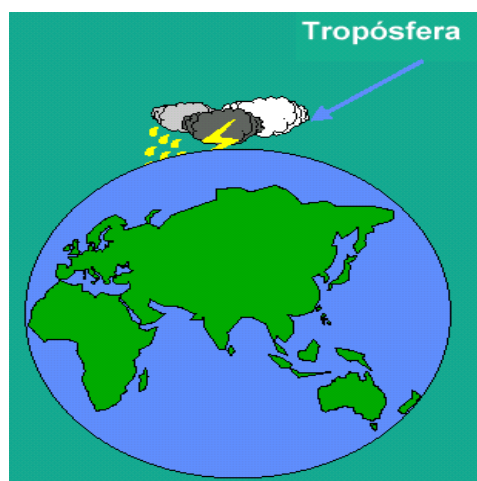


Figura 4.24: Error de la Tropósfera



### Error de Multitrayectoria

Se produce cuando la onda sufre reflexiones, choques contra objetos reflectantes (Edificios, árboles, etc.) en su camino hacia la antena (Figura 4.25).

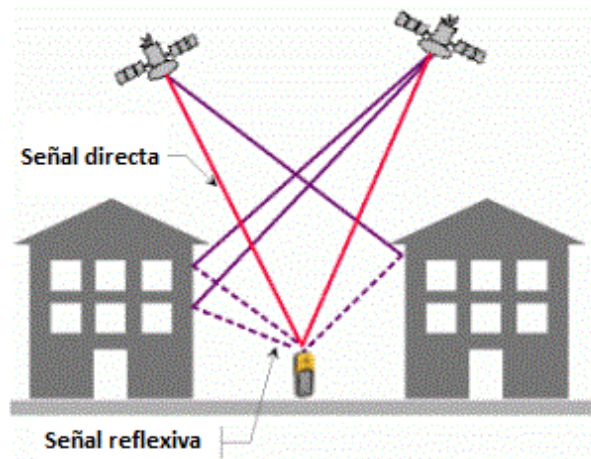


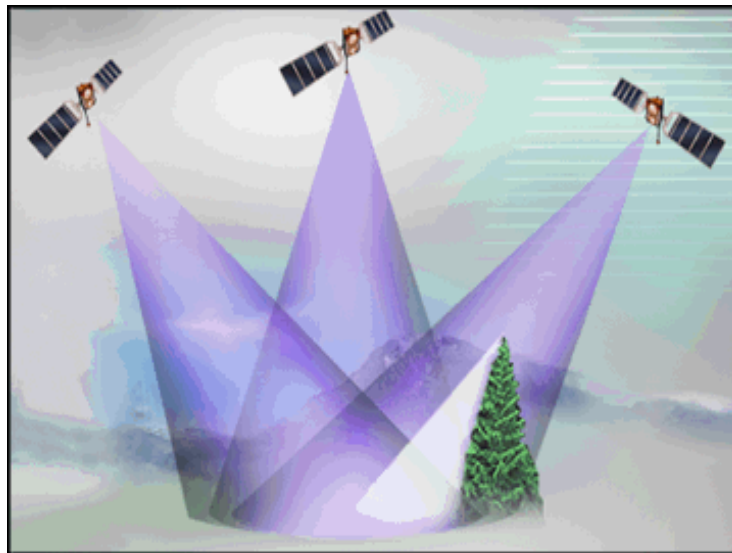
Figura 4.25: Error de Multitrayectoria

### Error por pérdida de ciclo

Pérdida de seguimiento continuo, por parte del receptor GPS, de las señales que le llegan del satélite, las pérdidas de ciclos suponen un salto en el registro de las medidas de fase por:

- Interrupción o pérdida de la señal enviada por el satélite (árboles, edificios, montañas, etc.) (Figura 4.26).
- Baja calidad de la señal, SNR (relación señal-ruido) debido a una baja elevación del satélite, malas condiciones ionosféricas, multipath, etc.

- Fallo en el software del receptor, que lleva a un procesamiento incorrecto de la señal.

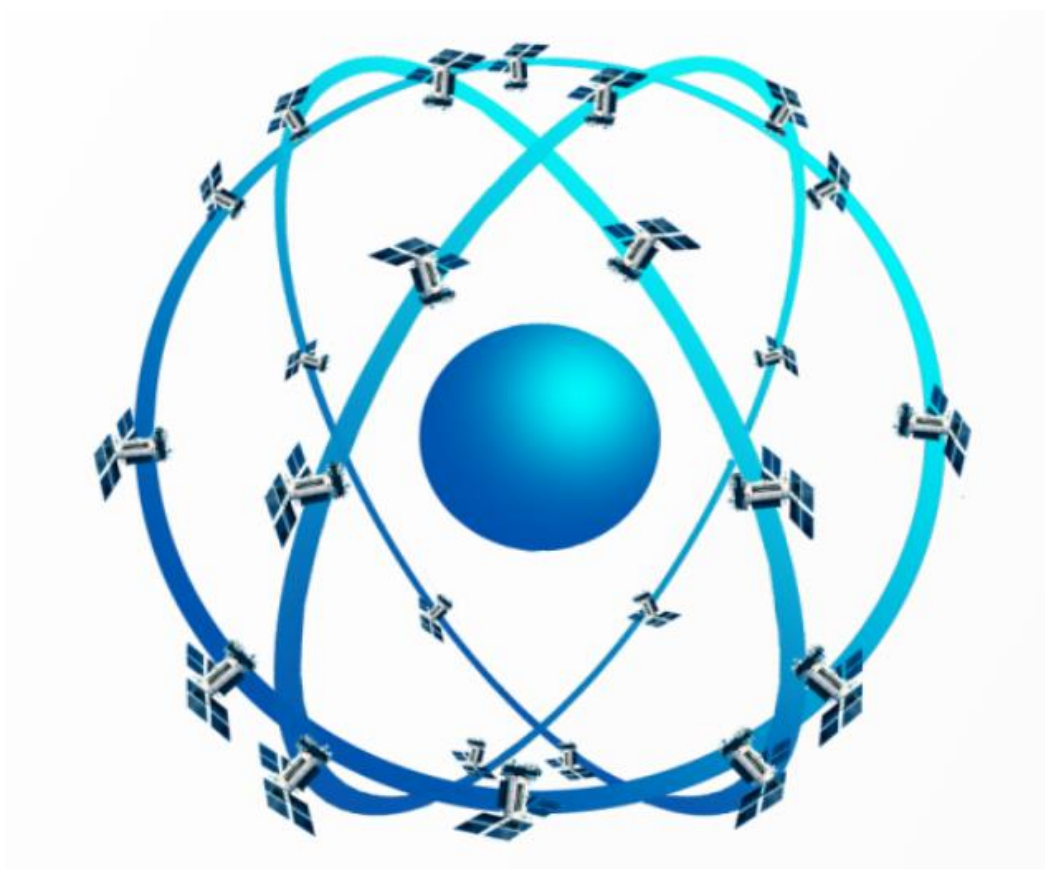


*Figura 4.26: Error por pérdida de ciclo.*

#### **4.11 Sistema GLONASS (GPS Ruso)**

El sistema de navegación global por satélite ruso es conocido por sus siglas como GLONASS, que derivan de (Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema). GLONASS (Russian Global Orbiting Navigation Satellite System) fue desarrollado paralelamente al GPS. El sistema es manejado por las Fuerzas Militares Rusas, teniendo importantes aplicaciones civiles. Este proyecto fue ideado en los años setenta, pero su primer lanzamiento se realizó en el año 1982. Los satélites GLONASS son lanzados en órbitas a una altura de 19,100 Km

GLONASS está configurado operacionalmente con ocho satélites en cada una de las tres órbitas (Figura 4.27). Esta configuración la obtuvo en 1996 pero debido al tiempo de vida cumplido por unos de estos satélites, esta configuración se perdió. Actualmente la constelación está formada por 21 satélites activos y 3 de reserva situados en tres planos orbitales separados por  $120^\circ$  con lo que se pueden divisar 4 satélites de forma continua.



*Figura 4.27: Constelación de satélites GLONASS*

Los satélites del Sistema GLONASS tienen un periodo orbital de 11 horas y 15 minutos. La configuración del sistema proporciona datos de navegación a usuarios por encima de los 2000 Km. sobre la superficie terrestre.

### **Las partes del sistema GLONASS son:**

#### **Segmento espacial**

Está constituido por 24 satélites colocados en tres planos orbitales con una inclinación de 64.8 grados con relación al ecuador terrestre, y con 8 satélites en cada plano a una altitud de 10,313 millas náuticas (unos 19100 Km). El período orbital de cada uno de estos satélites es de 11 horas y 15 minutos.

#### **Segmento de control**

Incluye una estación maestra de control, estaciones de seguimiento de los satélites y las estaciones para enviar mensajes de navegación y control. El segmento de control del Sistema GLONASS esta enteramente ubicado en el territorio de la Unión Soviética. El centro principal de control terrestre está ubicado en Moscú, y existen otras estaciones de telemetría y seguimiento en St. Petersburgo, Ternopol, Eniseisk, Komsomolsk-na- Amure.

#### **Segmento usuario**

Consiste de los receptores GLONASS, los mismos que están compuestos de un receptor-procesador y un sistema de antena.

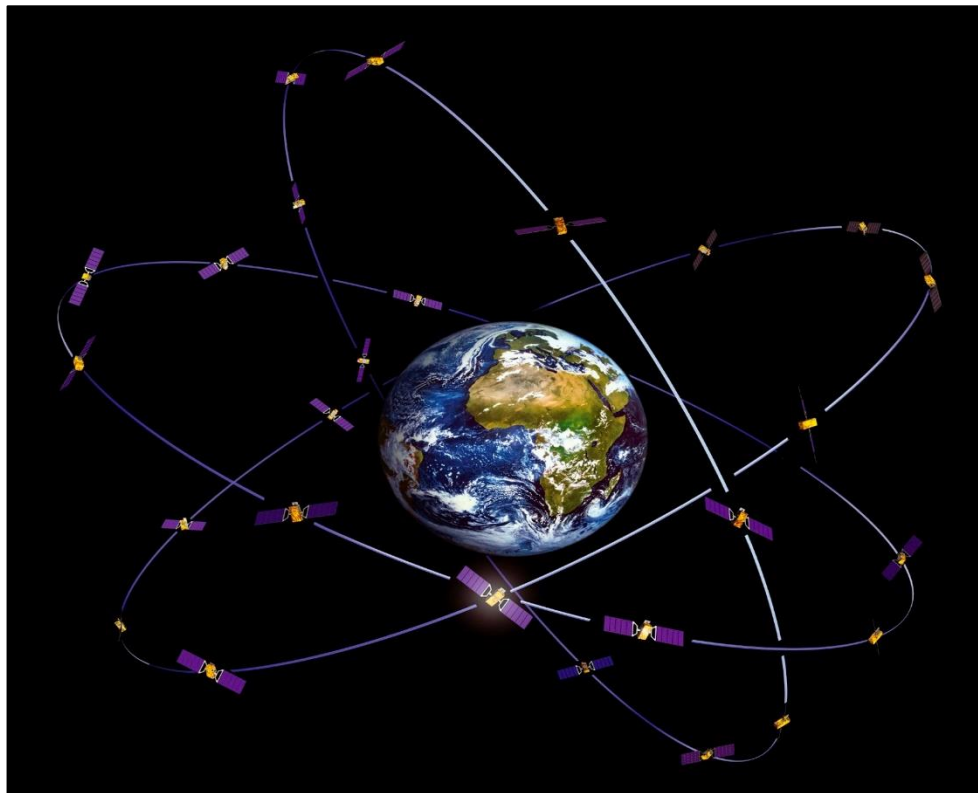
El Sistema GLONASS es un sistema militar y civil. Todos los usuarios militares y civiles constituyen el Sector Usuario. El desarrollo y diseño de nuevos receptores por parte de los fabricantes está en continua evolución.

Un equipo de recepción de señales GLONASS, al igual que uno de GPS, está formado por una antena y un receptor. Los receptores disponen de un reloj para sincronizar las señales recibidas.

#### **4.12 Sistema GALILEO (GPS Europeo)**

Galileo es el Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) de Europa, y estará compuesto por 30 satélites (27 operativos y 3 de reserva) distribuidos en tres planos orbitales a 23.222 km de altitud sobre la Tierra, con una inclinación de 56 grados con respecto al ecuador (Figura 4.28). Los satélites estarán distribuidos uniformemente en cada plano y tardarán 14 horas en completar una órbita a la Tierra. Cada plano contará con nueve satélites operativos y con uno de reserva.

Se caracteriza por ser el primer sistema de posicionamiento global de uso civil.



*Figura 4.28: Constelación de satélites GALILEO*

Con 30 satélites a esta altitud, hay una probabilidad muy alta (mayor del 90%) de poder ver un mínimo de cuatro satélites en cualquier momento desde cualquier lugar del mundo, lo que es en principio suficiente para determinar con precisión la posición del usuario. Lo normal será tener siempre a la vista de seis a ocho satélites, lo que permite calcular la posición con un margen de error será del orden de unos pocos centímetros. Al ser compatible con GPS, Galileo duplicará el número de satélites visibles en cada momento.

**Las partes del sistema GALILEO son:****Segmento espacial**

Consistirá en 30 satélites (27 operativos + 3 de repuesto) situados en tres órbitas a unos 23222 Km de altitud. La inclinación de cada plano orbital será de 56° con respecto al ecuador de referencia. La inclinación se eligió para tener una buena cobertura por encima de los 75° (Desde cada punto de la Tierra será visibles de 6 a 8 satélites).

**Segmento de control**

El Centro de Control de Galileo (GCC) se situará en territorio europeo y tendrá como misión controlar los satélites, calcular el mensaje de navegación y mandarlo a los satélites. Una red global de sensores Galileo (Galileo Sensor Stations: GSS) recogerá las observaciones que serán enviadas al GCC mediante una red de comunicaciones

**Segmento usuario**

Aquí es donde radican las principales diferencias entre GALILEO con GPS y GLONASS, ya que este ofrece diversidad de servicios, entre ellos:

1. Open Service (OS)
  - Abierta a todo el mundo sin ningún cargo.
  - Permitirá obtener resultados de posicionamiento y tiempo.
  - Interoperable con GPS y GLONASS.

- Solo con dos frecuencias permitirá obtener posiciones en tiempo real con precisiones por debajo del metro.
2. Safety of Life (SoL)
    - Mejora las precisiones del OS con mensajes de integridad.
  3. Commercial Service (CS)
    - Mayor precisión.
    - No es gratuito.
  4. Public Regulated Service (PRS)
    - Dará servicio de posicionamiento y tiempo a usuarios que requieran alta continuidad (aplicaciones gubernamentales).
  5. Search and Public Rescue Service (SAR)
    - Transmitirá globalmente mensajes de alerta que serán recibidos casi en tiempo real.
    - Ayudará al posicionamiento en las operaciones de rescate.



## CAPITULO V

### MANUAL DE USO DE EQUIPO GPS DE DOBLE FRECUENCIA APLICADO A LAS TÉCNICAS DE MEDICIÓN TOPOGRÁFICAS.

#### 5.1 Fundamentos teóricos de las Técnicas de Medición.

##### 5.1.1 Estático

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

Para el empleo de esta técnica de medición satelital se debe seguir una serie de procesos que van desde la planificación del lugar de medición, hasta la corrección de coordenadas en un postproceso. Para la técnica podemos identificar las siguientes etapas:

- Reconocimiento o identificación de campo.
- Monumentación.
- Medición u observaciones satelitales.
- Trabajo de Oficina o postproceso.

##### **Reconocimiento.**

Consiste en operaciones de campo destinadas a verificar las características y condiciones sobre el terreno destinado a ubicar vértices geodésicos.

Permite determinar con certeza las condiciones en que se encuentran los mojones o definir la posición de uno nuevo. En esta etapa se define si un vértice cumple las condiciones de un mojón geodésico tales como su máscara o campo de rastreo satelital, la facilidad de ubicar las referencias del vértice y por supuesto la ubicación topográfica del mismo. De todo esto se elabora un informe que permite cualificar en oficina la elección o no de los vértices geodésicos posibles.

Dicho trabajo de reconocimiento cuenta con tres requerimientos para su óptimo desarrollo, y dependiendo de la magnitud del proyecto puede ser realizado por varias cuadrillas, se presentan a continuación los pasos a seguir:

**a) Seleccionar en el terreno los sitios adecuados para el establecimiento de los monumentos permanentes.**

Se seleccionarán sitios donde el suelo existente tenga buena capacidad portante, que permita realizar la construcción de los monumentos y garantice su permanencia. Evitar la Monumentación en sitios donde la capa de material orgánico es demasiado profunda o donde se presenten capas de desechos sólidos de considerable espesor (basureros), y todos los sitios cuyas propiedades físicas y mecánicas no sean adecuadas para soportar el peso de los monumentos de concreto reforzado y garantizar la estabilidad.

Otro criterio importante en la selección del sitio de monumentación es garantizar que las condiciones actuales serán constantes durante un largo periodo de tiempo, es decir que no cambiarán a corto plazo debido a los efectos del clima, erosión del suelo, trabajos de terracería, construcción de carreteras, edificaciones, etc.

En levantamientos topográficos con estación total se necesitan dos puntos con coordenadas conocidas y que sean inter visibles entre sí. Esto debe considerarse cuando se selecciona el sitio de monumentación, porque estos vértices son muy utilizados para aplicaciones topográficas.

**b) Comprobar las condiciones de observación en cada sitio elaborando para ello el Diagrama de Obstrucción o Máscara.**

Una vez se han evaluado las condiciones generales del terreno, se procede a comprobar que dicho sitio cuente con las condiciones óptimas para las observaciones satelitales.

Para lograr el acometido es necesario utilizar equipos básicos en la medición de ángulos como es un inclinometro y una brújula de mano (Figura 5.1), los cuales ayudan al proceso de llenado del diagrama de Obstrucción o Mascara. Este diagrama permite determinar si el sitio seleccionado cuenta con una ventana de observación adecuada para evitar muchos de los errores que se cometen al recibir señales satelitales.



*Figura 5.1: Inclímetro y brújula*

Para llenar el diagrama de Obstrucción se deben realizar los siguientes pasos:

- Situarse sobre el sitio donde se pretende establecer el vértice geodésico.
- Observar preliminarmente cada uno de los obstáculos posibles alrededor del punto (Pueden ser edificios, arboles altos, antenas, muros, taludes, etc).
- Para anotar uno de estos obstáculos y plasmarlo en el Diagrama de Obstrucción se debe determinar el Rango de azimut (Figura 5.2), es decir, medir desde el Norte (N) con la brújula el ángulo hasta donde inicia el ancho de dicho obstáculo, posteriormente determinar el Azimut hasta donde terminar el ancho del obstáculo.

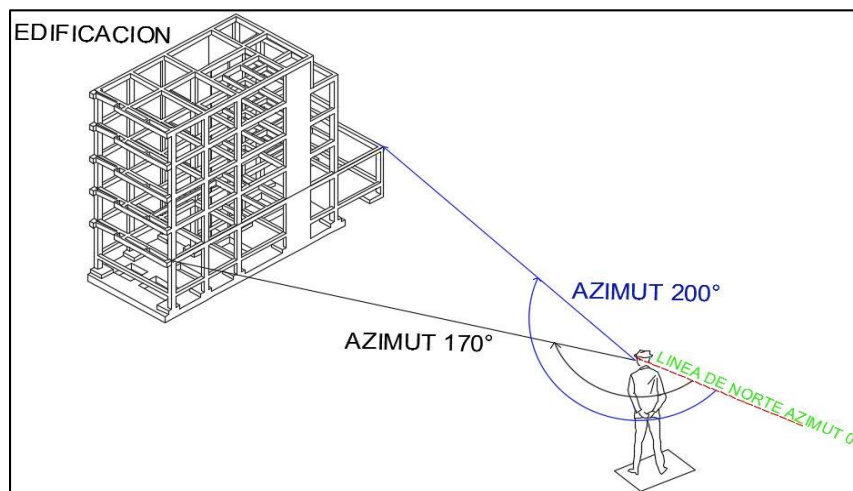


Figura 5.2: Medida del Rango de Azimut

- Después se debe medir con un inclinómetro, a partir de la altura posible del aparato (Altura del ojo de un humano promedio), el ángulo vertical donde termina en altura el obstáculo, al igual que la distancia a la que se encuentra (Figura 5.3) y anotarlo en el formato estándar.

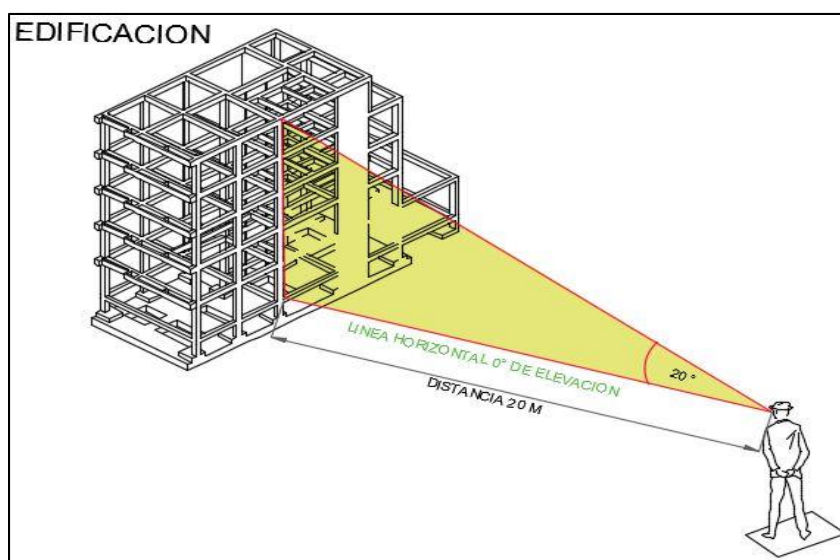


Figura 5.3: Medida del Angulo vertical del obstáculo

- Con los rangos de Azimut y el ángulo vertical de elevación se procede a dibujar en el diagrama cada obstáculo observado, primero se debe establecer el rango de azimut en grados que ocupa dicho obstáculo, y el espesor del obstáculo en el diagrama es el ángulo vertical, medido desde el borde de la circunferencia hacia el centro de esta. Un ejemplo como obstáculo es el edificio en las Figuras 5.2 y 5.3 siendo su Diagrama de Obstrucción el que se ilustra en la Figura 5.4.

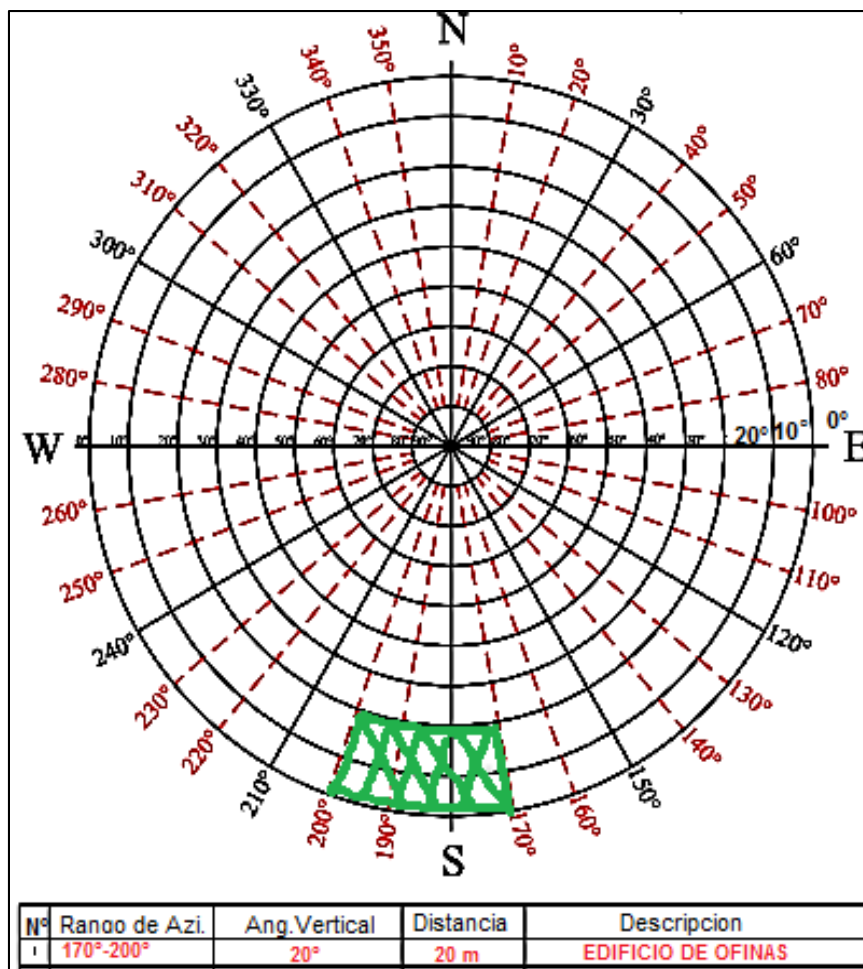


Figura 5.4: Diagrama de obstrucción

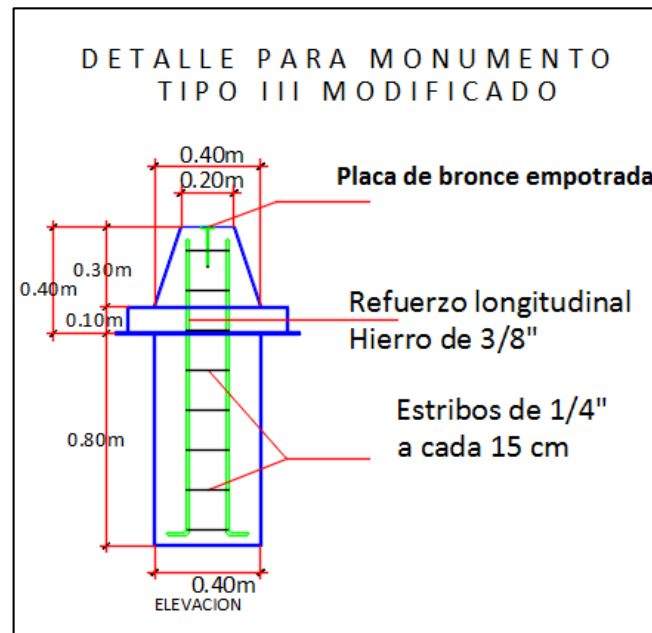
**c) Elaborar los croquis, descripciones preliminares de los puntos.**

Se debe elaborar un croquis general orientado de cada punto y redactar una descripción preliminar que contenga como mínimo la designación del punto, e información sobre las características geográficas locales del sitio y del paisaje circundante, haciendo énfasis sobre los aspectos de ubicación regional, direcciones para llegar al sitio y si hay disponibilidad de servicios básicos. Deberá asimismo contener las condiciones previstas para las siguientes actividades como son la Monumentación y Medición GPS.

**Monumentación.**

La Monumentación de los puntos que conformarán la nueva red geodésica deberán realizarse siguiendo las especificaciones dictadas por el organismo encargado de administrar dichas redes, que para el caso de El Salvador es el Instituto Geográfico y Catastro Nacional (IGCN). Se debe tomar en cuenta las normas generales que se indican a continuación:

- a. Todo punto de la red geodésica deberá estar permanentemente marcado en el terreno mediante el establecimiento de monumentos construidos en concreto armado “in situ” (Figura 5.5) de tal modo que se asegure razonablemente su permanencia y estabilidad.



*Figura 5.5: Detalle de monumento*

- b. En relación con la permanencia de los monumentos, se deberá ejercer el criterio de construirlos con la solidez que las circunstancias lo permitan en función de las posibilidades de pérdida o destrucción, para lo cual se deberá prever el recurso de construirle al Vértice principal y a su Marca de Azimut una base o plancha subterránea de concreto alineado verticalmente con el centro de la placa o pin, situados estos en la cara superior del mojón, además de construir sub-monumentos o marcas de referencia, con características similares pero más pequeños, que permitan la recuperación inequívoca del monumento principal.



- c. Con relación a las Marcas de Referencia estas deberán ser construidas en el sentido horario de las manecillas del reloj y la primera referencia, si las condiciones topográficas lo permiten, deberá estar ubicada al norte franco del vértice, la segunda con un azimut de  $120^\circ$  y la tercera referencia con un azimut de  $240^\circ$ , ligados estos con sus distancias respectivas.
- d. Respecto a la estabilidad de los monumentos, se deberán tomar en cuenta para su establecimiento las características geológicas locales, del suelo y las condiciones ambientales prevalentes, a fin de asegurar una razonable permanencia en posición a lo largo del tiempo.
- e. Se aceptarán como monumentos los tipos de marca metálica (pines) empotrados en concreto, media vez cumpla con las condiciones mínimas para observaciones GPS.
- f. Todo monumento deberá llevar en su parte superior una inscripción que lo identifique, preferiblemente mediante una placa metálica grabada empotrada en el material. La inscripción deberá contener al menos indicación del organismo que estableció el monumento, fecha, tipo de levantamiento, designación y un punto en el centro que señale el sitio preciso en que se hacen las medidas.

**Medición u observación satelital.**

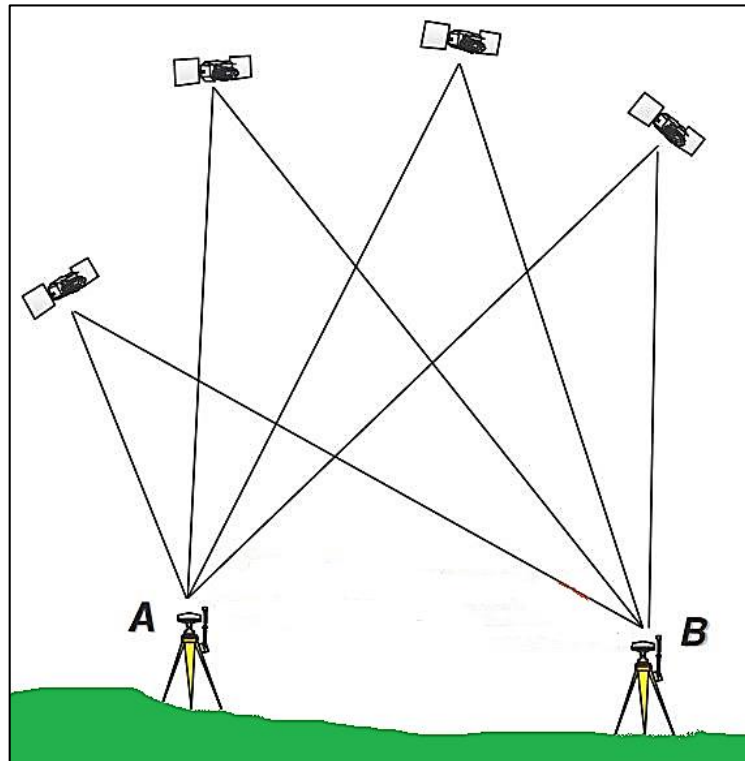
Consiste en estacionar dos o más receptores en los puntos donde se desean establecer coordenadas (Figura 5.6) y uno sobre la estación de referencia conocida, y realizar la medición simultáneamente en los 3 o más receptores. Las coordenadas que se obtienen del proceso de medición se denominan coordenadas de navegación, y tienen un error aproximadamente de 1 m, por lo que es fundamental realizar el post proceso con software, en el que se hace un ajuste y compensación de las coordenadas, proceso que demanda utilizar las coordenadas conocidas de la estación de referencia.

El tiempo de observación o medición en cada estación dependerá de la distancia entre los receptores, el número de satélites que se estén observando en cada estación y de la Dilución de la Precisión (DOP) con respecto al tiempo, ubicación y geometría de los satélites.

Cuando se ha registrado suficiente información y ha transcurrido el tiempo de medición, los receptores se apagan y se ubican en una nueva posición hasta cubrir todas las ubicaciones trazadas, posteriormente se realiza el post proceso de estos datos en conjunto, utilizando software especializado en el procesamiento de los archivos que generan los equipos receptores para almacenar los datos de las mediciones.

En este tipo de medición se obtienen soluciones tan redundantes como se desean, tan solo se debe prolongar el tiempo de medición.

Esta técnica de medición no siempre es recomendable para levantamientos topográficos (debido al tiempo requerido de observación para cada punto, así como el costo)



*Figura 5.6: Equipos receptores GPS en técnica de medición Estática*

- **Distancia entre equipos receptores GPS:**

Por lo general esta técnica se utiliza para medir distancias largas, mayores a 20 Km, sin embargo, también se puede aplicar para distancias menores.

- **Tiempo de medición:**

Para distancias entre receptores menores de 100 kilómetros: 2 horas

Para distancias entre receptores mayores de 100 kilómetros: 4 horas

A mayor distancia corresponde más tiempo de medición, la relación es directamente proporcional.

- **Precisión:**

5 mm  $\pm$  1 ppm depende del tiempo de observación y de la distancia de la línea base.

- **Parámetros por considerar en esta técnica de medición:**

Intervalo de Grabación: 15 ó 30 Seg.

Máscara: 15°

Mínimo de Satélites: 4

Tiempo mínimo de Observación: 1 hora mínimo.

### **5.1.2 Estático-Rápido.**

El método estático-rápido requiere de la utilización de equipos de doble frecuencia y código P, al igual que el método estático este requiere post proceso.

Esta técnica se desarrolla en 4 etapas: reconocimiento, Monumentación, medición y postproceso. Dichas etapas se emplean de manera similar a la técnica de medición estática, la diferencia se encuentra en la medición.

**Medición u observación satelital.**

La medición requiere tiempos de observación más cortos. Típicamente una medición estática de 1 o más horas de duración, puede ser realizada en 5 ó 20 minutos, dependiendo de la cantidad de satélites, su configuración geométrica y longitud de la línea base a medir.

La gran importancia de este método es la capacidad de poder medir líneas bases en tiempos más cortos que el estático tradicional, midiendo varios sitios sin necesidad de tener que mantener todo el tiempo atrapada la señal de los satélites. Con este método se puede apagar el receptor móvil mientras se traslada de un sitio a otro. (La estación base debe permanecer recibiendo la información todo el tiempo).

Su aplicación se encuentra en la densificación rápida de puntos, donde las condiciones topográficas son adversas y los trayectos entre estaciones son obstruidos.

El proceso de medición se resume de la siguiente manera:

- a. Estacionamiento de un receptor sobre un punto de referencia conocida, correctamente nivelada y centrada. Este equipo observa y almacena datos de todos los satélites continuamente, el tiempo que requiera el trabajo de medición.
- b. El receptor móvil es centrado y nivelado en el punto que se desea levantar.
- c. El móvil se estacionará sobre dicho punto el tiempo adecuado.

- d. Si son varios los puntos a levantar, se traslada el móvil hasta cada uno verificando las distancias y seleccionando el tiempo.
- e. Levantado todos los puntos se puede retirar el receptor en el punto de referencia y realizar un postproceso para obtener coordenadas reales.

- **Distancia entre equipos receptores GPS:**

Ideal para líneas base cuya longitud no exceda de 20 km.

- **Tiempo de medición:**

Según las líneas bases entre la estación referencia y el receptor móvil se recomiendan los siguientes tiempos:

Menor a 5 km: 5 a 10 min.

De 5 km a 10 km: 10 a 20 min.

De 10 a un máximo de 20 km: Alrededor de 30 min.

- **Precisión:**

5-10 mm  $\pm$  1 ppm depende del tiempo de observación y de la distancia de la línea base

- **Parámetros por considerar en esta técnica de medición:**

Intervalo de Grabación: 10 Seg.

Máscara: 10°

Mínimo de Satélites: 4

Tiempo mínimo de Observación: 5-20 minutos

### 5.1.3 Cinemático en Tiempo Real (RTK)

La metodología de observación con GPS en tiempo real es un método rápido, cómodo y capaz de dar precisiones aceptables.

El método de trabajo con GPS en tiempo real se compone de un GPS fijo de referencia y un GPS en movimiento. El receptor fijo se sitúa sobre un punto de coordenadas conocidas. Este vértice se denomina como vértice de referencia.

La metodología en tiempo real se basa en el cálculo de ambigüedades o errores en el mismo instante de la toma de datos. A partir de la observación satelital de la estación de referencia se calculan los errores de la medición y las correcciones se envían de forma instantánea al receptor móvil, por lo que las coordenadas obtenidas en tiempo real en este receptor son las definitivas y no es necesario el postproceso.

La comunicación entre el receptor de referencia y el receptor móvil es posible gracias al sistema de telecomunicaciones de radio frecuencia. Para evitar problemas de comunicación entre receptores es recomendable elevar la antena del receptor de referencia lo máximo posible, por lo que se recomienda previamente establecer un punto de referencia de primer orden con la técnica de medición estática en sitios elevados cercanos a la zona donde posteriormente se realizará la medición con la técnica RTK (Azoteas de edificios, lomas, etc.) (Figura 5.7).



*Figura 5.7: Ubicación recomendada para receptor Base y Móvil en técnica RTK.*

El procedimiento para efectuar el levantamiento con equipos GPS en tiempo real requiere el mismo equipo que para medición estática, además de sistemas de transmisión de telecomunicaciones por radiofrecuencia.

Se estaciona el equipo fijo (base) en la estación de referencia y se introducen las coordenadas de esta. El receptor enviará las correcciones al equipo móvil a través de un sistema de telecomunicación operativo entre ambos receptores.

El levantamiento se lleva a cabo por dos operarios con dos receptores, uno de referencia y otro móvil. Uno de los operadores se encarga de la toma de puntos con el receptor móvil, mientras que el otro operario va realizando los croquis de la zona, así como anotando el número de punto y su correspondiente descripción,



quedando así definido cualquier tipo de elemento a representar. El receptor fijo sólo necesita vigilancia y control de la batería.

Las coordenadas de los puntos se obtienen en el sistema de referencia WGS84. La metodología RTK permite asociar una proyección y un sistema de referencia distinto, podemos obtener las coordenadas de los puntos directamente en la proyección UTM o cualquier otro sistema. También podrían obtenerse en sistemas de referencia locales. En El Salvador se debe configurar los equipos GPS introduciéndoles el sistema de proyección cartográfico denominado “Cónico Conformal de Lambert SIRGAS-ES2007” para obtener directamente las coordenadas proyectadas, es decir, las coordenadas planas (x, y).

- **Distancia entre equipos receptores GPS:**

La longitud de las líneas bases no debe exceder de 10 km, dependiendo de la potencia o alcance del radio.

- **Tiempo de medición:**

De 1 a 5 segundos cuando la señal de radio frecuencia entre el receptor móvil y el fijo se transmita sin interferencias.

- **Precisión:**

1 a 2 cm + 2 ppm

- **Parámetros por considerar en esta técnica de medición:**

Intervalo de Grabación: 1 Seg.

Máscara: 10°

Mínimo de Satélites: 4

Tiempo mínimo de Observación: de 1 a 5 seg.

## 5.2 Manual de uso del GPS de doble frecuencia.

### 5.2.1 Equipos e Instrumentos.

En la Figura 5.8 se ilustran todos elementos que se necesitan para la medición con equipo GPS diferencial, posteriormente se describe brevemente la función de cada elemento, en el orden que aparece en la figura.



Figura 5.8: Elementos necesarios para la medición con equipo GPS diferencial.

**A) Receptor:** Estos equipos son fundamentales porque tiene la función de recibir y decodificar las señales emitidas por los satélites. Estos poseen una serie de botones y luces LED (Figura 5.9), cuya descripción se detalla en la tabla 5.1.



Figura 5.9: Conjunto de botones y luces LED del receptor GPS

Tabla 5.1: Descripción de botones y luces LED del equipo receptor

Figura	Nombre	Descripción
A	Botón de Encendido	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Si la unidad está apagada, mantener pulsada la tecla hasta que la unidad se encienda (hasta que se escuche un pitido)</li> <li>- Si la unidad está encendida, mantener pulsada durante 3 segundos (hasta que se escuche tres pitidos) para apagar la unidad</li> </ul>

B	Botón de Selección	(Para módulos Bluetooth / UHF / GSM / SD) Permite revisar el estado del módulo o cambiar el estado (encendido / apagado) de un módulo.
1	UHF/GSM radio	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apagado: La radio UHF o el módulo GSM están apagados; o no se calcula la posición del LED de estado RTK</li> <li>- Encendido (amarillo): RTK de punto flotante alcanzada</li> <li>- Encendido (verde): ambigüedad fija Posición RTK alcanzada</li> <li>- Parpadea (verde): Radio UHF o módulo GSM que transmite / recibe datos</li> <li>- Pulso (rojo): condición de error con radio UHF o módulo GSM</li> </ul>
2	LED de estado de posición GPS	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Apagado: sin posición</li> <li>-Encendido (amarillo): posición válida</li> <li>- Parpadea (amarillo): funciona como una estación base y converge en coordenadas de referencia</li> </ul>

3	LED de estado de posición DGPS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apagado: no hay correcciones diferenciales disponibles</li> <li>- Encendido (verde): posición corregida diferencialmente calculada</li> </ul>
4	LED de estado de la alimentación externa	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apagado: la alimentación externa no está presente</li> <li>- Encendido (rojo): alimentación externa presente y en uso.</li> </ul>
5 y 6	LED de estado de las baterías	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apagado: la batería no está presente</li> <li>- Encendido (verde): carga de la batería completa</li> <li>- Encendido (amarillo): carga de la batería &lt;50%</li> <li>- Encendido (rojo): carga de la batería agotada</li> <li>- Parpadeo: batería en uso</li> </ul>
7	LED del estado del Bluetooth	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apagado: Bluetooth inactivo</li> <li>- Encendido (azul): conexión Bluetooth activa</li> <li>- Parpadea (azul): Bluetooth activo y transmisión / recepción de datos</li> </ul>

8	LED de estado del registro SD	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apagado: Tarjeta SD no insertada</li> <li>- Encendido (amarillo): Tarjeta SD insertada, no registrando datos</li> <li>- Parpadea (amarillo): Tarjeta SD insertada y lectura / escritura de datos en la tarjeta SD</li> <li>- Pulso (amarillo) a 5 Hz: Tarjeta SD insertada y poco espacio libre</li> </ul>
---	-------------------------------	---

**B) Colector:** Dispositivo electrónico cuyas funciones principales son la interacción con el usuario y el almacenamiento de la información de las mediciones.

**C) Antena:** Encargada de transmitir y recibir señales de radio entre equipos rectores.

**D) Cable de comunicación:** Este elemento tiene la función de enlazar el equipo receptor y colector.

**E) Soporte para antena:** Elemento cuya función es acoplar la antena al equipo receptor.

**F) Base Nivelante:** Se utiliza para garantizar una correcta nivelación del equipo GPS.

**G) Acople de rosca:** Este elemento se utiliza para fijar el receptor a la base nivelante.

**H) Cinta métrica:** Se utiliza para la medición de la altura de la antena del receptor.

**J) Cable de carga del receptor:** Se utiliza como una forma alternativa para cargar el receptor a través de una batería portátil.

**K) Cable de carga del colector:** Se utiliza como una forma alternativa para cargar el colector en un vehículo.

### **5.2.2 Método Estático.**

En el desarrollo de esta técnica se planificó establecer dos vértices geodésicos de primer orden, y un punto base para la técnica RTK en la azotea de la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador con el objetivo de contar con puntos de referencias geodésicos para proyectos dentro de la Universidad o sitios aledaños.

Para el establecimiento de los vértices geodésicos se aplicó el procedimiento descrito en el subcapítulo 5.1.1, dichas actividades se presentan a continuación.

#### **– Reconocimiento.**

En esta etapa se reconocieron dos sitios para establecer vértices geodésicos, en cada uno de estos el suelo presenta una buena capacidad portante, no se proyectan construcciones que modifiquen las condiciones actuales y ambos puntos son Inter visibles para ser utilizados en levantamientos topográficos georreferenciados con estación total.

Además, se verificó que dichos sitios cumplen con las condiciones mínimas para la recolección de observaciones GNSS, ya que al realizar las mediciones respectivas de ángulos y distancias de posibles obstáculos y dibujar el diagrama de obstrucción de cada punto se obtuvo una máscara de elevación de  $15^\circ$ .

Ambos puntos se presentan en un croquis general de ubicación (Figura 5.10), se designa con el nombre de FIA1 al punto que se encuentra al norte del edificio de la Escuela de Ingeniería Mecánica, y FIA2 al punto ubicado al Noreste del Edificio de Ingeniería Industrial.

Los sitios son accesibles ya que existen caminos para el tránsito vehicular los que facilita el traslado del equipo satelital y materiales para realizar Monumentación, la zona donde se encuentran dichos puntos es urbana y cuenta con servicios básicos.



Figura 5.10: Croquis de ubicación de puntos FIA1 y FIA2



– **Monumentación.**

En esta etapa se construyeron mojones de concreto reforzado del tipo 3 modificado con placas circulares de bronce (Figura 5.11) en los vértices FIA1 y FIA2, dicha etapa se desarrolló con base a las especificaciones técnicas establecidas por el CNR/IGCN.

En el punto Base RTK se colocó una placa de aluminio rotulada, empotrada en la losa de concreto (Figura 5.12)



*Figura 5.11: Construcción de mojones tipo 3 modificado*



*Figura 5.12: Colocación de placa para Base de referencia RTK en Biblioteca FIA.*

– **Medición.**

En la medición se utilizan dos equipos Carlson con tipo de antena HSM320 para establecer coordenadas geodésicas a los puntos FIA1 y FIA2, y en el punto de referencia UES se fija un Equipo Leica con tipo de antena LEIC530 (Figura 5.13).



*Figura 5.13: Equipo GPS de doble frecuencia marca Leica.*

- **Instalación de equipo.**

- 1- Ubicar el trípode con base nivelante o un trípode con bastón, sobre el punto donde se desea realizar la medición, procurando centrar y nivelar correctamente. (Figura 5.14).



*Figura 5.14: Colocación de trípode con base nivelante.*

- 2- Acoplar el receptor al trípode o bastón (Figura 5.15)



*Figura 5.15: Receptor GPS acoplado, correctamente nivelado.*

- 3- Medir la altura desde el punto hasta el receptor, si se está utilizando Trípode dicha altura debe ser inclinada. (Figura 5.16).



*Figura 5.16: Medición de altura inclinada de antena.*

- 4- Si se desea realizar la medición con cableado para la comunicación entre el receptor y colector, se recomienda utilizar el conector VGA que va al puerto del colector (Com1). (Figura 5.17)



*Figura 5.17: Colector y receptor conectados a través de cable.*

- 5- Una vez instalado correctamente el equipo (Figura 5.18), se procede a encender el Receptor y colector




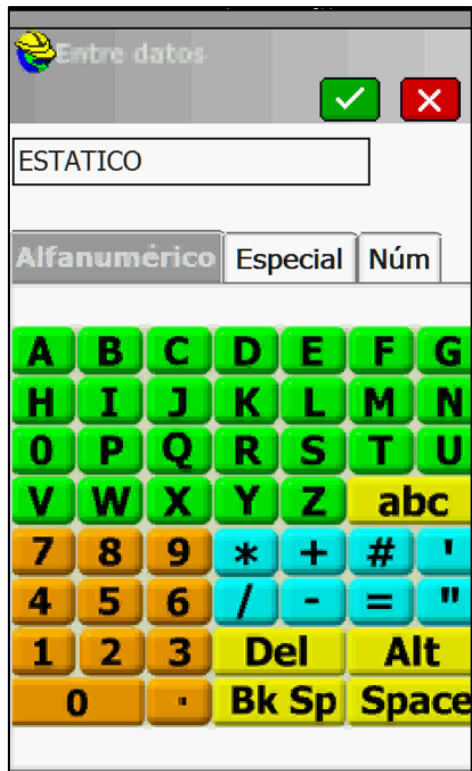
*Figura 5.18: Equipos satelitales correctamente instalados, listos para iniciar la medición.*

- Toma de datos.

<p><b>1)</b></p> <p>Encender el bluetooth en el colector e ingresar a la aplicación SurvCE.</p>	<p><b>2)</b></p> <p>Al ingresar a la aplicación SurvCE aparecerá el siguiente cuadro de dialogo y seleccionar la opción “Trabajo Nuevo/Existente”.</p>
	

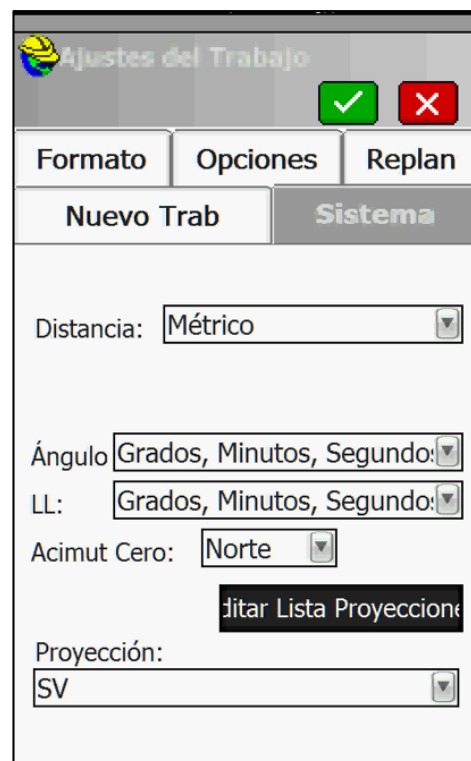
3)

Ingresar el nombre del trabajo y dar clic en Aceptar. 



4)

En la siguiente pantalla, en la pestaña Sistema, verificar las unidades de medida de distancias y ángulos, finalmente clic en Aceptar.

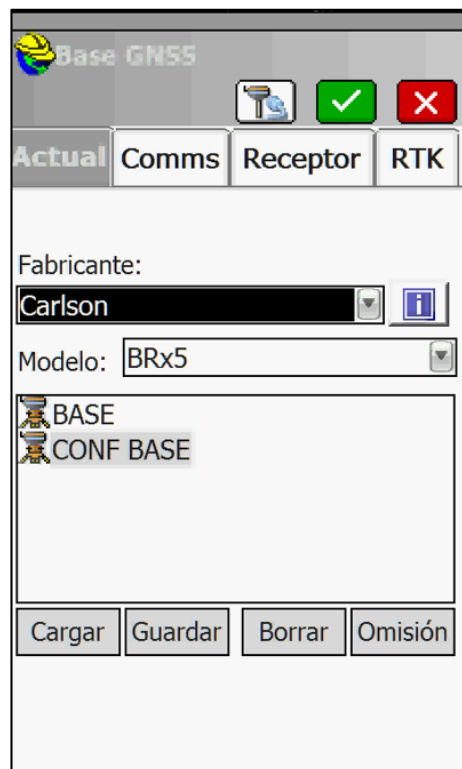


5)

Seleccionar el menú Configuración e ingresar en la opción Base GNSS para configurar el receptor con los parámetros necesarios para la medición.

6)

En la pestaña Actual se muestran los equipos que han sido enlazados con el colector anteriormente.





7)

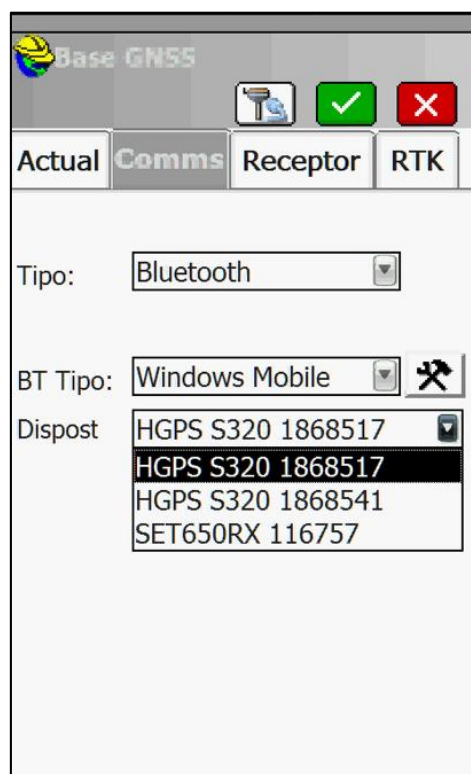
Ingresar a la pestaña “Comms” y elegir en la opción “Tipo”, la vía de comunicación; bluetooth o cable, entre el receptor y colector.

7.1-A

Si la comunicación se decide realizar por bluetooth, hacemos clic en el icono

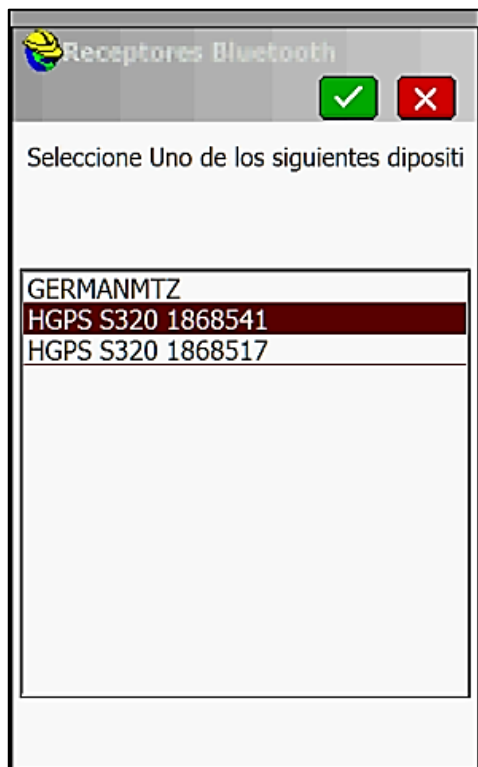


de la pantalla anterior, después hacer clic en “Buscar Dispositivo”.

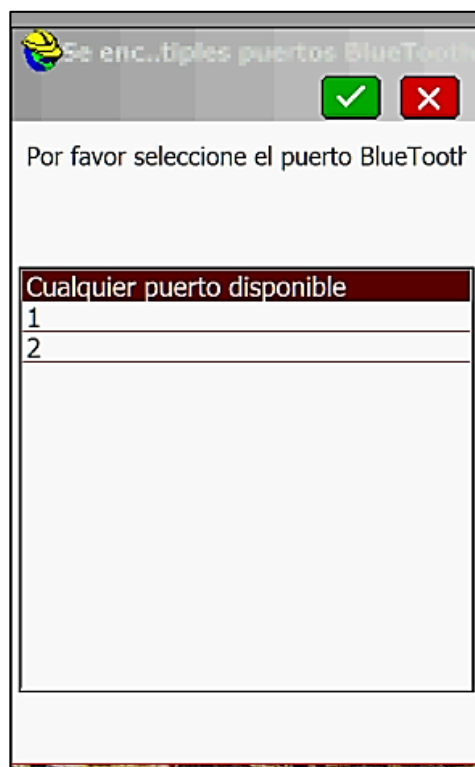


**7.1-B**

En la pantalla se muestran los dispositivos disponibles, seleccionar el nombre o serie del receptor que se está configurando. Hacer clic en Aceptar.

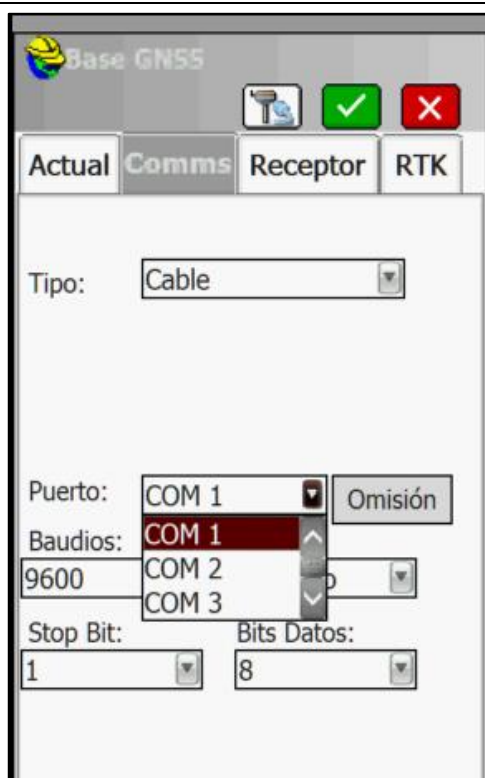
**7.1-C**

Seleccionar la opción "Cualquier puerto disponible". Clic en Aceptar. Esta acción nos retorna a la pantalla del paso 7.1-A, en ella hacer clic en Cerrar para comenzar el enlace vía bluetooth.



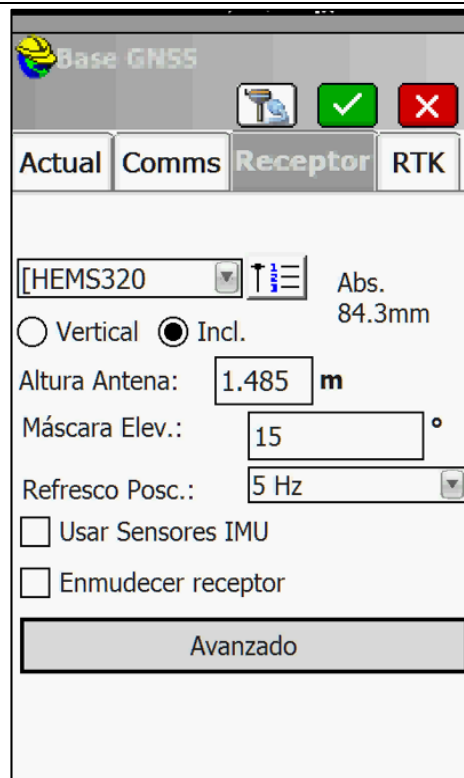
**7.2**

Si en la opción “Tipo” del paso 7, se selecciona “Cable”, se muestra la pantalla siguiente. En la opción “Puerto” seleccionar “COM 1”. Hacer clic en Aceptar. Para que la comunicación receptor-colector sea por cableado.

**8)**

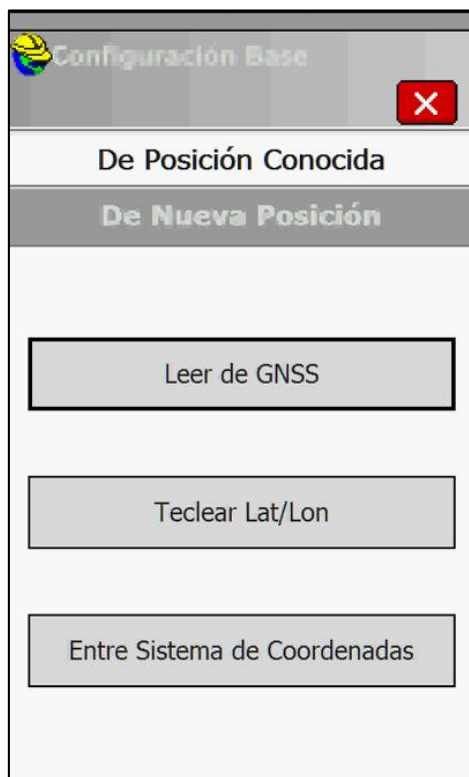
En la pestaña Receptor, dependiendo de la forma en que se midió la altura del receptor (Antena) se puede seleccionar “Vertical” o “Inclinada”, en este caso se marca “Incl.”, ingresar Altura de Antena y máscara de Elevación. Dar clic en Aceptar.

NOTA: En esta técnica no es necesario configurar la pestaña RTK.



9)

Se muestra la siguiente pantalla, en la cual se debe hacer clic únicamente en el botón Salir.



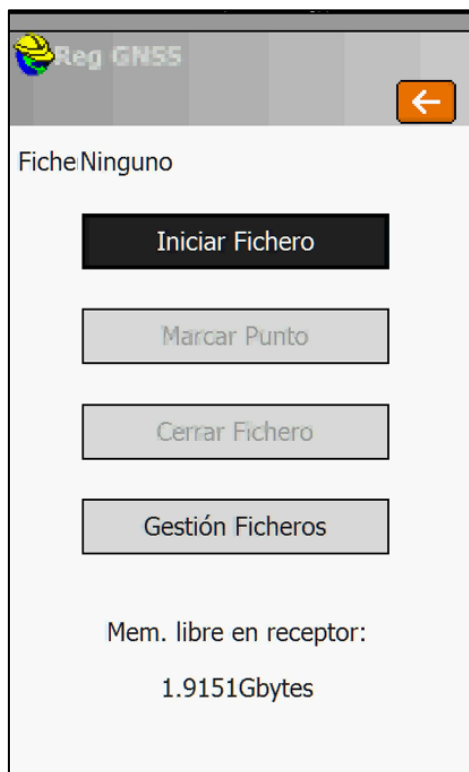
10)

Seleccionar el tercer menú e ingresar a la opción número 7 "Post-Proceso".

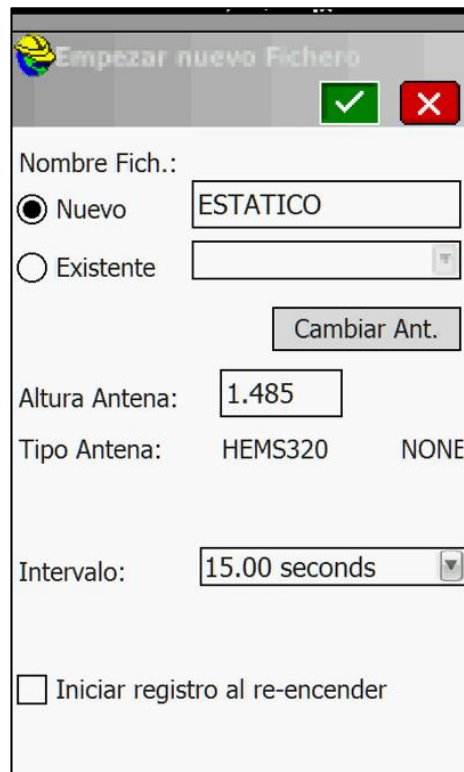


**11)**

En el cuadro de dialogo Reg GNSS, seleccionar la opción Iniciar Fichero.

**12)**

Seleccionar “Nuevo” y designar el nombre del fichero donde se grabarán los datos de las observaciones, también se debe verificar que la “Altura de Antena” sea la correcta y seleccionar el “Intervalo de medición”, el cual es recomendable cada 15 segundos. Hacer clic en Aceptar.

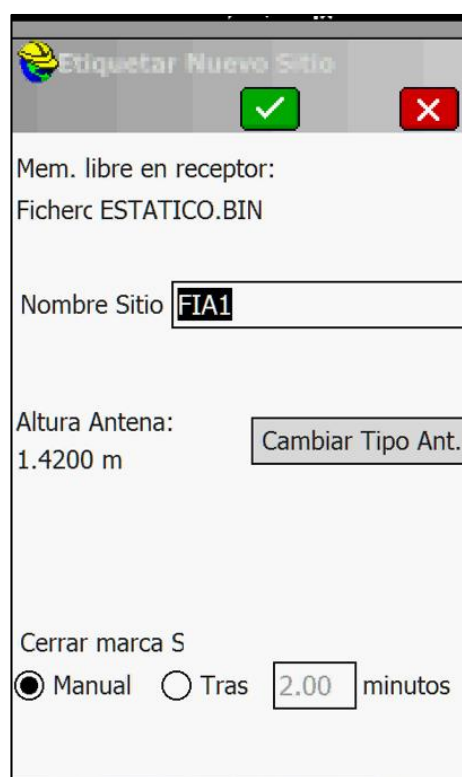


**13)**

Seleccionar la opción “Marcar Punto”.

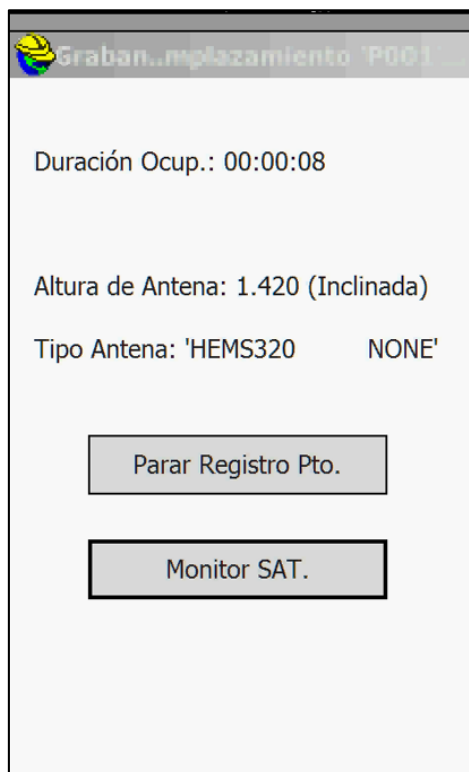
**14)**

Ingresar el nombre del punto en la opción Nombre Sitio, y en “Cerrar marca S” seleccionar si la finalización de la observación será Manual o trascurrido un tiempo programado. Hacer clic en Aceptar y la medición da inicio.

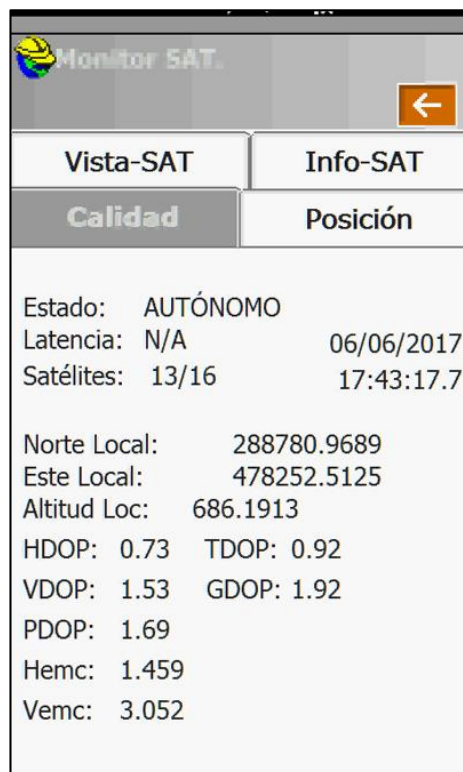


**15)**

En la siguiente pantalla se puede observar el tiempo transcurrido de medición, se muestran la opción de “Parar Registro Pto.” y “Monitor. SAT.”

**16)**

Al seleccionar la opción “Monitor. SAT”, en la pestaña “Calidad”, se puede verificar el número de satélites disponibles, parámetros de la calidad en la geométrica satelital y la precisión horizontal (Hemc) y vertical (Vemc).



**17)**

En la pestaña Posición se observan las variaciones en las lecturas de las coordenadas geográficas WGS-84 y elevación elipsoidal.

**18)**

Se retorna a la pantalla del paso 15 y para finalizar la medición del punto geodésico, hacer clic en "Parar Registro Pto" y aparece un cuadro de dialogo, hacer clic en "Si" para finalizar la medición.





**19)**

Seleccionamos la opción Cerrar Fichero, esperar a que se confirme la acción y hacer clic en Atrás para volver al menú principal.

**20)**

Para salir del programa SurvCE, hacer clic "Salir" y seleccionar en el cuadro de dialogo emergente la opción "Si".



- **Postproceso.**

A continuación, se presenta el proceso a seguir para transformar coordenadas de navegación a coordenadas reales, mediante el postproceso con el Software CARLSON SURVEY GNSS.

Los datos de las observaciones se encuentran en las memorias extraíbles de los receptores (Figura 5.19), se debe retirar e insertar en un ordenador.

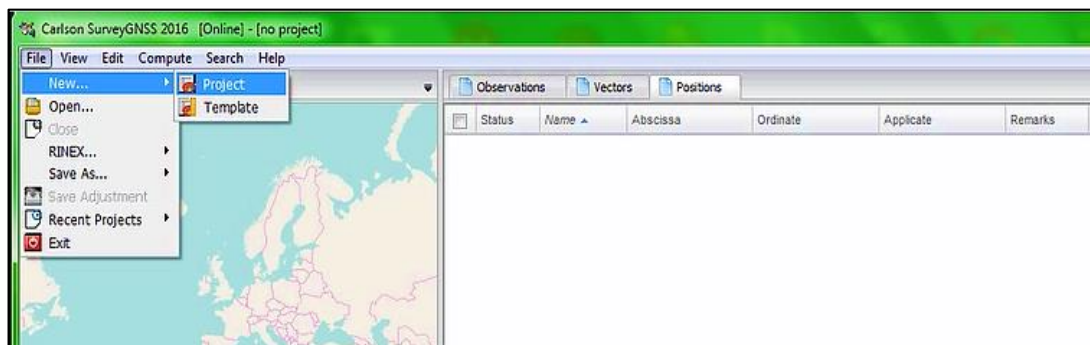


*Figura 5.19: Extracción de memorias SD*

En la memoria extraíble, en la carpeta DATA se encuentran los ficheros de observación de cada punto medido, es recomendable crear una carpeta para almacenar el proyecto y los datos de observación de cada punto de interés. También se recomienda contar con acceso a internet.

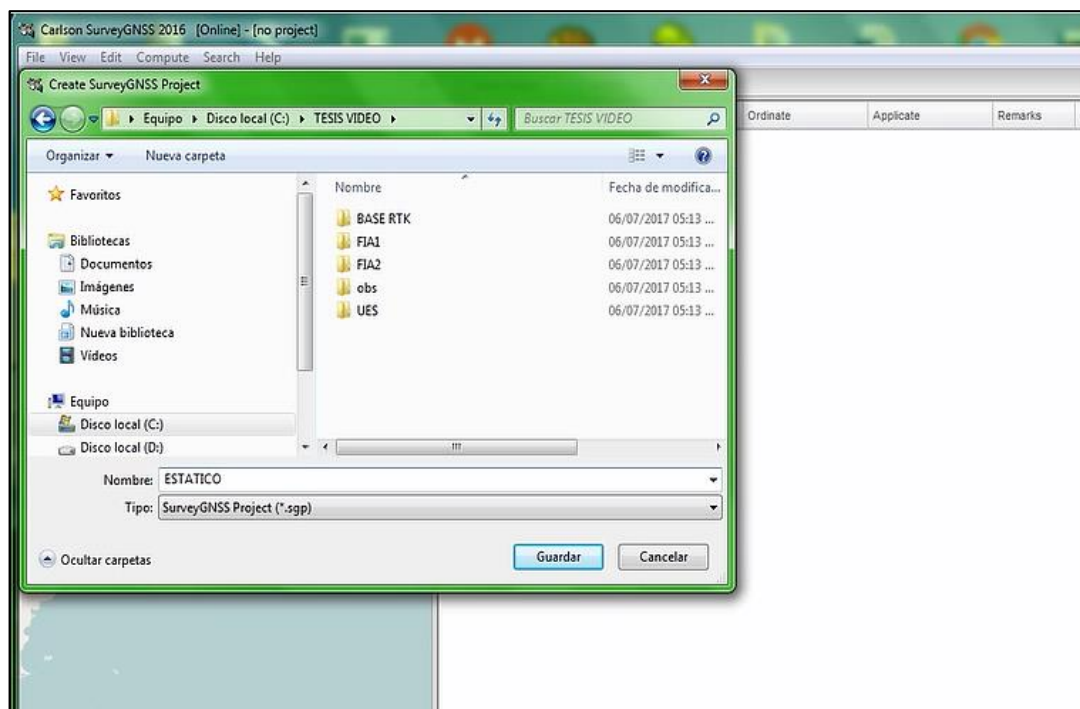
1)

Al ingresar al software, seleccionar el menú **File** ► **New** ► **Project**.



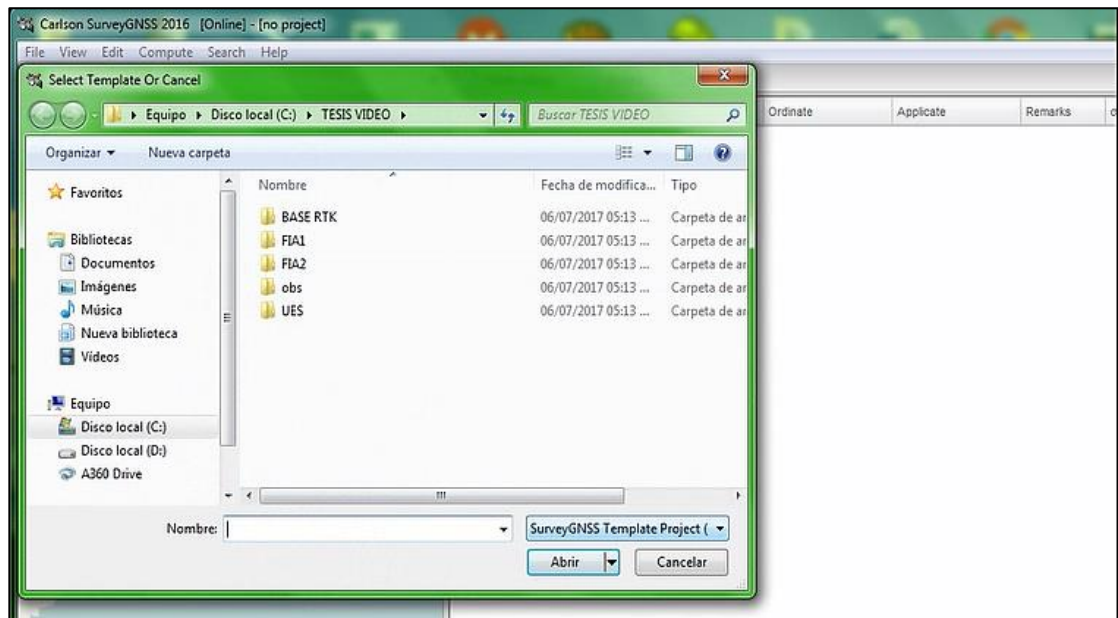
2)

Se presenta el siguiente cuadro de dialogo donde se debe asignar el nombre al proyecto y la ubicación almacenamiento. Luego hacer clic en Guardar.



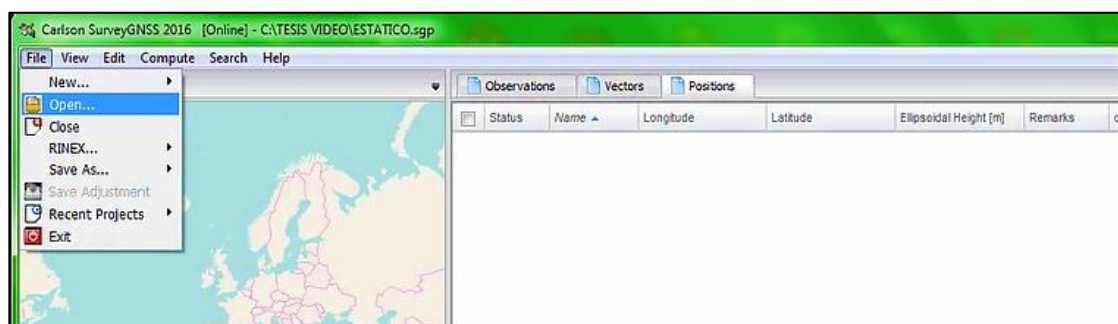
3)

El programa nos pedirá crear una plantilla del proyecto, esta es de carácter opcional y no resulta necesaria, por lo tanto, hacer clic en Cancelar.



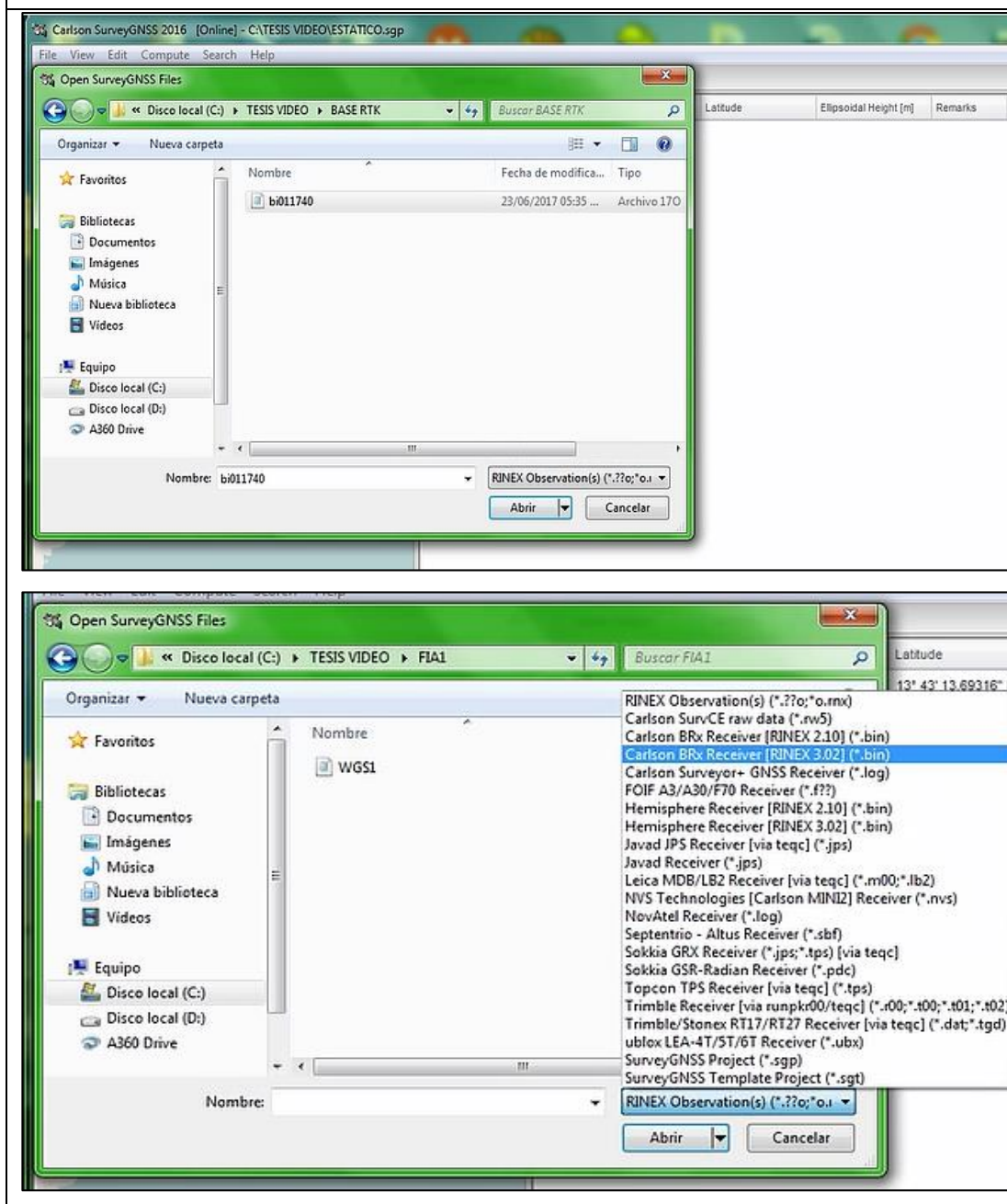
4)

Para cargar los archivos que contienen los datos de observación, seleccionar el menú **File** ► **Open** y buscar la carpeta donde están almacenados.



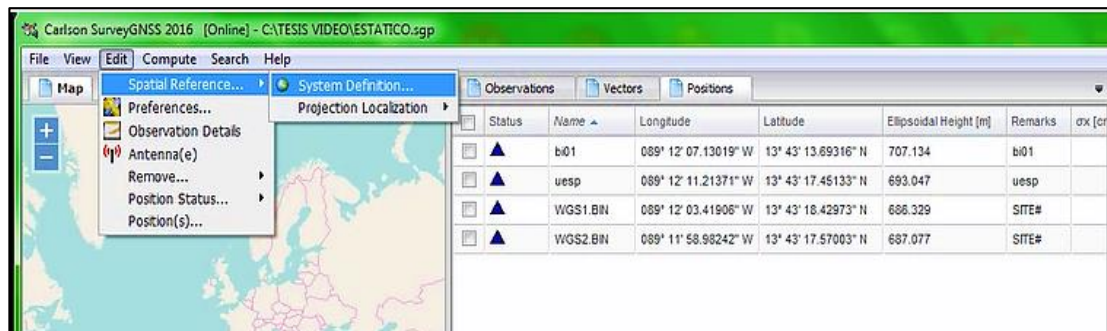
5)

Seleccionar el archivo y verificar el formato de estos. En caso de que la medición se realizó con un receptor distinto al Carlson seleccionar el formato RINEX Observation(s). Para los receptores Carlson se debe seleccionar el formato Carlson BRx Receiver (RINEX 2.10) extensión Bin.



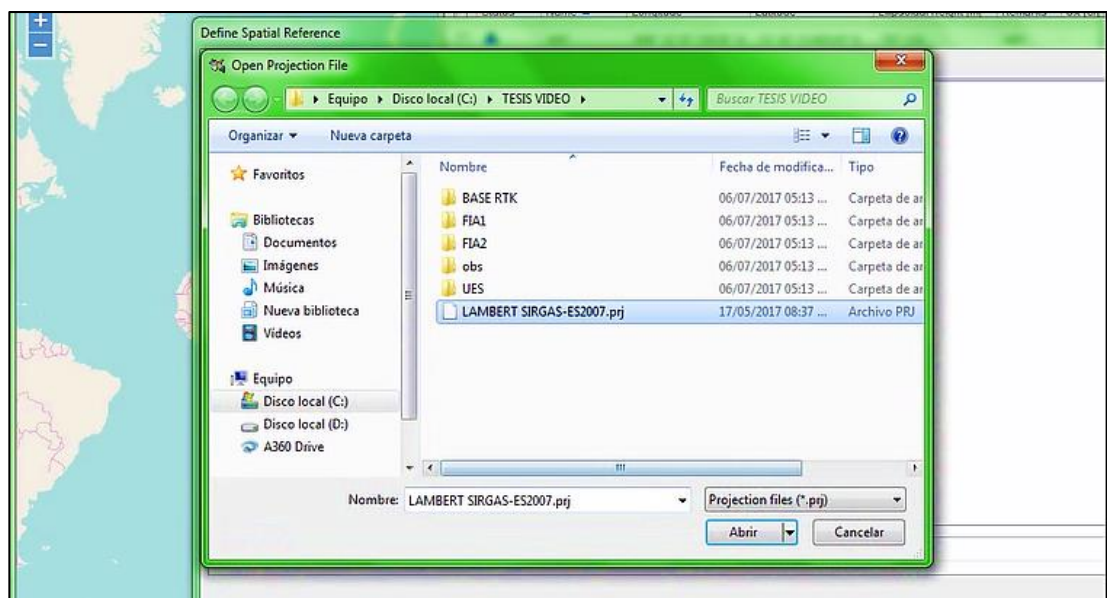
6)

El software permite ingresar el sistema de proyección utilizado en el país donde se realiza la medición. Seleccionar el menú **Edit** ► **Spatial Reference** ► **System Definition** ► **Local** ► **Open**.



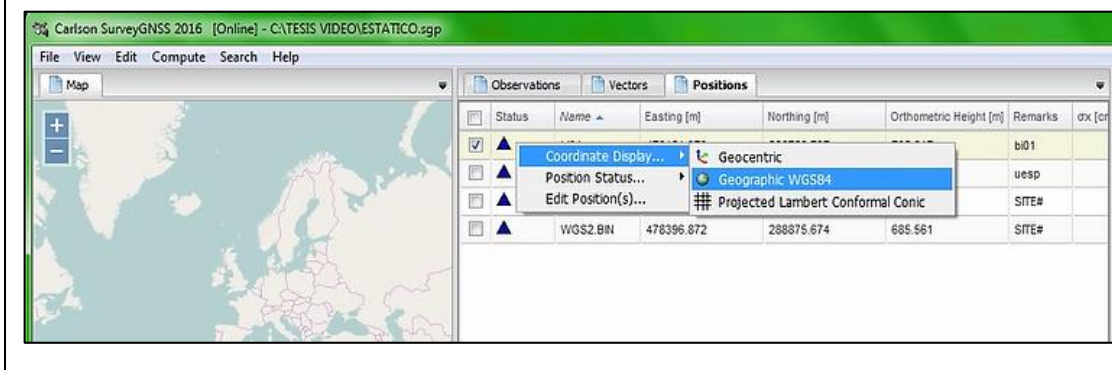
7)

En el cuadro de dialogo, buscar en el ordenador la ubicación del archivo LAMBERT SIRGAS-ES2007 con extensión \*.prj. Con el propósito de obtener coordenadas planas. Este archivo se generó en el Capítulo III utilizando el Software Geographic Calculator.



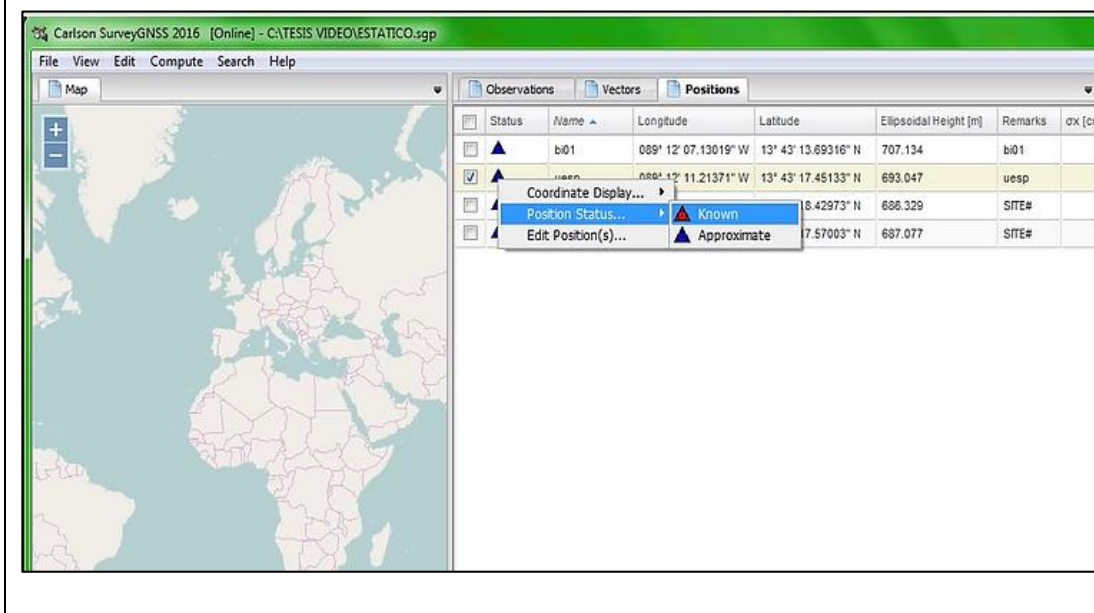
8)

Una vez definido el sistema de proyección, las coordenadas de los puntos cargados aparecen automáticamente en coordenadas planas. Se recomienda realizar el procesamiento con coordenadas geograficas WGS84, para ello dar clic derecho sobre uno de los puntos y seleccionar la opción Coordinate Display ► Geographic WGS84.



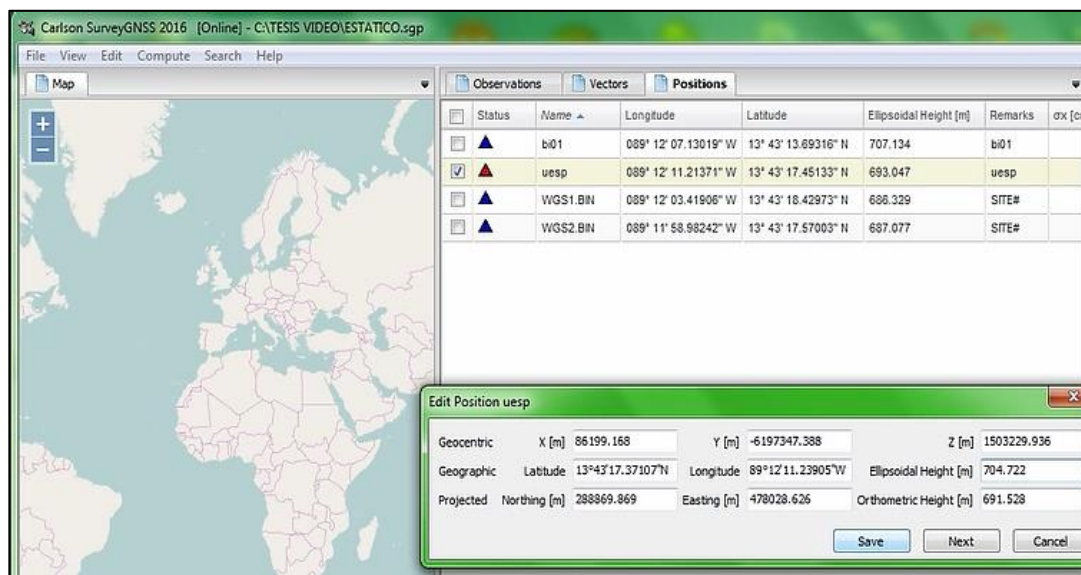
9)

Seleccionar el punto a utilizar como estación de referencia, hacer clic derecho ► Position Status ► Known



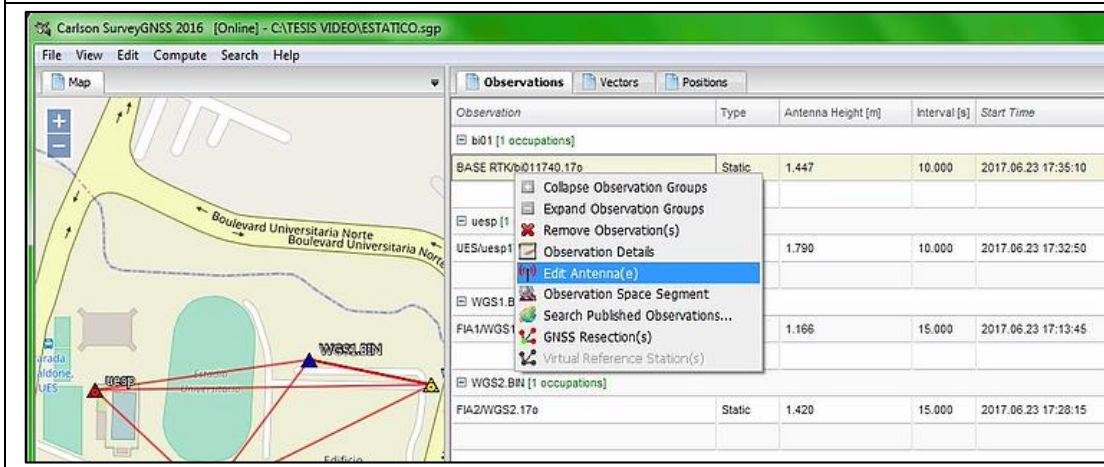
10)

Para introducir las coordenadas geográficas y elevación elipsoidal de la estación de referencia, hacer clic derecho sobre el punto, seleccionar “Edit Position(s)”, ingresar las coordenadas y finalmente clic en Save.



11)

Para verificar el tipo de antena de cada uno de los receptores utilizados en la medición, ingresar a la pestaña “Observations”, dar clic derecho sobre uno de los puntos y seleccionar “Edit Antena(s)”





12)

Seleccionar el tipo de antena correspondiente al receptor utilizado en la medición.

Carlson SurveyGNSS 2016 [Online] - C:\TESIS VIDEO\ESTATICO.sgp

File View Edit Compute Search Help

Map Observations Vectors Positions

Observation	Type	Antenna Height [m]	Interval [s]	Start Time
b01 [1 occupations]				
BASE RTK/b011740.17o	Static	1.447	10.000	2017.06.23 17:35:10
uesp [1 occupations]				
UES/uesp1740.17o	Static	1.790	10.000	2017.06.23 17:32:50
WGS1.BIN [1 occupations]				
FIA1/WGS1.17o	Static	1.166	15.000	2017.06.23 17:13:45
WGS2.BIN [1 occupations]				
FIA2/WGS2.17o	Static			06.23 17:28:15

Set Antenna Model

<select defined antenna type>

- LEIAT302-GP NONE
- LEIAT303 LEIC
- LEIAT303 NONE
- LEIAT502 NONE
- LEIAT503 LEIC
- LEIAT503 NONE
- LEIAT504 LEIS
- LEIAT504 NONE
- LEIAT504 OLGA
- LEIAT504 SCIS
- LEIAT504GG LEIS
- LEIAT504GG NONE
- LEIAT504GG SCIS
- LEIAT504GG SCIT
- LEIATX1230 NONE
- LEIATX1230 NONE

Candidate Static Vector(s)

Status	From	From File
<input checked="" type="checkbox"/>	uesp	UES/uesp1740.17o
<input checked="" type="checkbox"/>	uesp	UES/uesp1740.17o

13)

Seleccionar el menú **Compute** ► Candidate Static Vector(s), para formar las triangulaciones, con vectores, entre los puntos observados.

Carlson SurveyGNSS 2016 [Online] - C:\TESIS VIDEO\ESTATICO.sgp

File View Edit Compute Search Help

Map Observations Vectors Positions

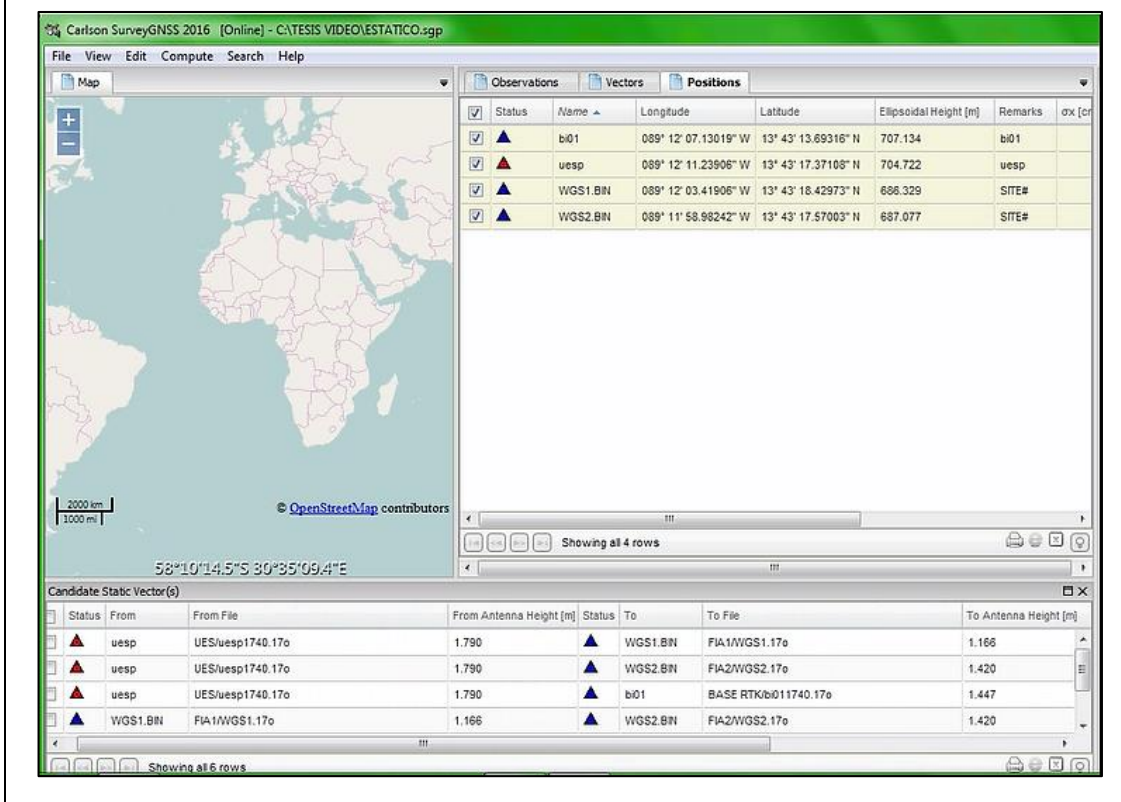
Compute

- Vector(s)
- Vector(s) With Options...
- Candidate Static Vector(s)
- Loop Closures
- Network Adjustment
- Projection Factors
- Projection Localization
- GNSS Resection(s)
- Virtual Reference Station(s)

Status	Name	Longitude	Latitude	Ellipsoidal Height [m]	Remarks	ox [cr]
<input checked="" type="checkbox"/>	b01	089° 12' 07.13019" W	13° 43' 13.69316" N	707.134	b01	
<input checked="" type="checkbox"/>	uesp	089° 12' 11.23906" W	13° 43' 17.37108" N	704.722	uesp	
<input checked="" type="checkbox"/>	WGS1.BIN	089° 12' 03.41906" W	13° 43' 18.42973" N	686.329	SITE#	
<input checked="" type="checkbox"/>	WGS2.BIN	089° 11' 58.98242" W	13° 43' 17.57003" N	687.077	SITE#	

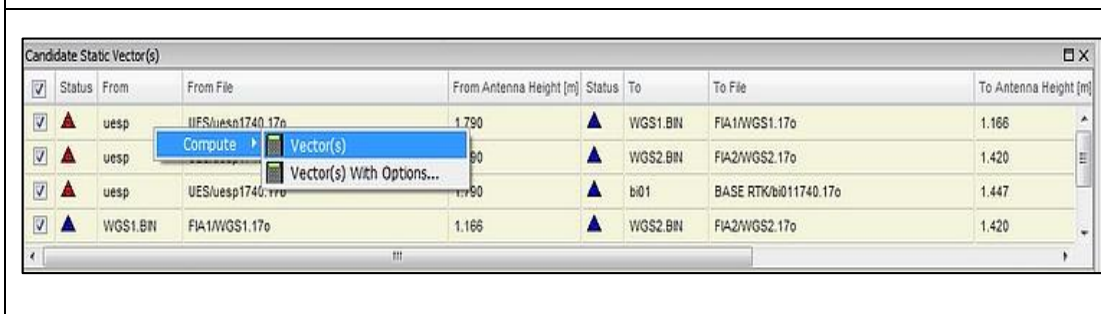
14)

En la parte inferior de la pantalla aparecen un cuadro con todos los vectores creados por el software y características relevantes de cada uno de ellos.



15)

Seleccionar todos los vectores ► clic derecho ► compute ► vector(s).



16)

Como resultado del procesamiento, en la pantalla se muestran en color amarillo los iconos que representan los puntos cuyas coordenadas han sido corregidas, indicando que estas cuentan con una precisión aceptable.

Carlson SurveyGNS 2016 [Online] - C:\tesis video2\estatico2.sgp

Status	Name	Longitude	Latitude	Ellipsoidal Height [m]	Remarks	ox [cr]
✓	bi01	089° 12' 07.18168" W	13° 43' 13.61465" N	719.074	bi01	
✓	uesp	089° 12' 11.23906" W	13° 43' 17.37108" N	704.722	uesp	
✓	WGS1.BN	089° 12' 03.44658" W	13° 43' 18.38462" N	700.704	SITE#	
✓	WGS2.BN	089° 11' 59.00361" W	13° 43' 17.51265" N	700.712	SITE#	

Candidate Static Vector(s)

Status	From	From File	From Antenna Height [m]	Status	To	To File	To Antenna Height [m]
✓	uesp	UES/uesp1740.17o	1.790	▲	bi01	BASE RTK/bi011740.17o	1.447
✓	WGS1.BN	FIA1/WGS1.17o	1.166	▲	WGS2.BN	FIA2/WGS2.17o	1.420

17)

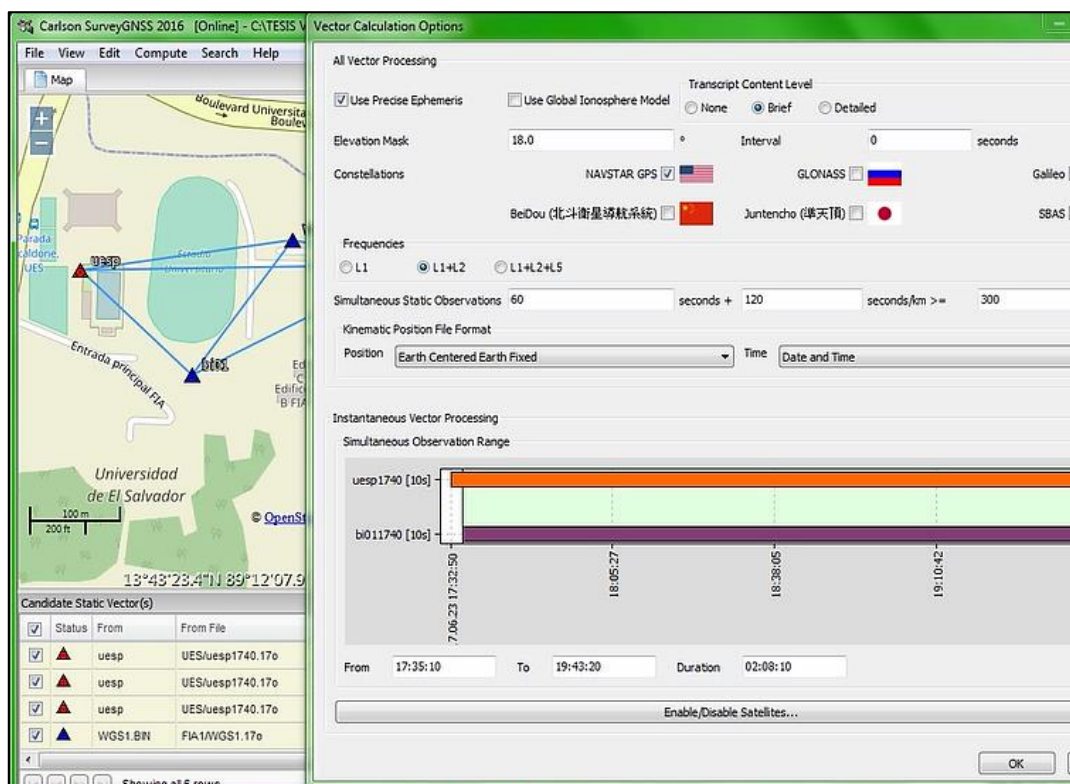
En caso de que se quiera hacer un procesamiento personalizado de las coordenadas, seguir el siguiente procedimiento: Seleccionar todos los vectores ► clic derecho ► compute ► vector(s) With Options...

Candidate Static Vector(s)

Status	From	From File	From Antenna Height [m]	Status	To	To File	To Antenna Height [m]
✓	uesp	UES/uesp1740.17o	1.790	▲	WGS1.BN	FIA1/WGS1.17o	1.166
✓	uesp	UES/uesp1740.17o	1.790	▲	WGS2.BN	FIA2/WGS2.17o	1.420
✓	uesp	UES/uesp1740.17o	1.790	▲	bi01	BASE RTK/bi011740.17o	1.447
✓	WGS1.BN	FIA1/WGS1.17o	1.166	▲	WGS2.BN	FIA2/WGS2.17o	1.420

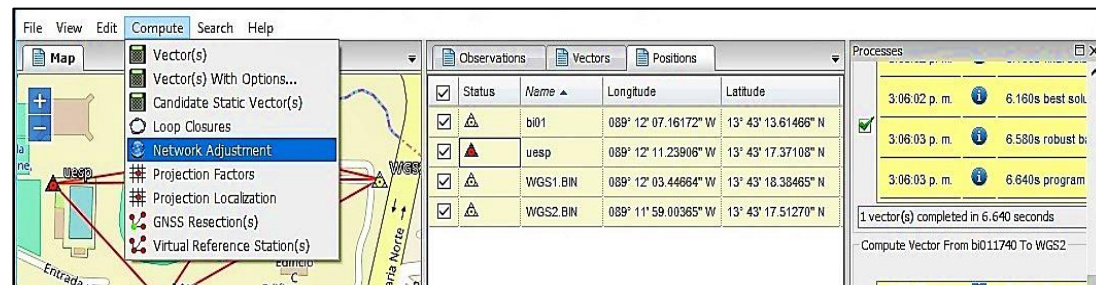
18)

En el procesamiento personalizado se muestra la siguiente ventana para cada uno de los vectores, en la que se pueden modificar ciertos parámetros de la medición satelital como la máscara de elevación, la constelación de satélites, las frecuencias de la señal satelital, entre otros. Al dar clic en el botón “Enable/Disable Satellites...” se tiene la opción de desactivar los satélites cuyas señales presentan interferencias o discontinuidades. Al realizar todas las modificaciones hacer clic en “ok”.



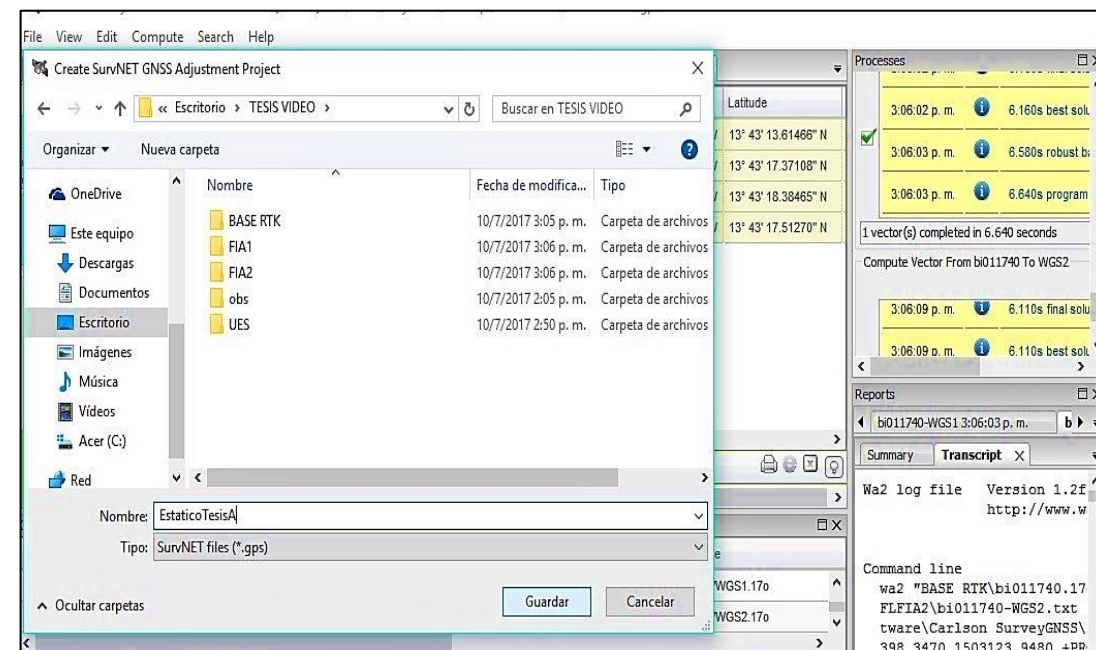
19)

Obtenidas las coordenadas reales de los puntos, se procede a realizar un ajuste de la red o triangulaciones, debido a que toda medición conlleva a un error de cierre. Para ello seleccionar el menú **Compute ► Network Adjustment**.



20)

Ingresar el nombre del archivo y ubicación donde se almacenan todos los parámetros estadísticos del ajuste. Hacer clic en Guardar.



21)

En la parte inferior derecha de la pantalla se muestra una hoja con todos los parámetros estadísticos del ajuste de la red. En ella se puede verificar la precisión final obtenida en el levantamiento de los puntos.

The screenshot shows a surveying software interface. The main window displays a map with a network of points (WGS1.BIN, WGS2.BIN, bi01, uesp) and their connections. The 'Observations' panel lists the following data:

Status	Name
<input checked="" type="checkbox"/>	bi01
<input checked="" type="checkbox"/>	uesp
<input checked="" type="checkbox"/>	WGS1.BIN
<input checked="" type="checkbox"/>	WGS2.BIN

The 'Least Squares Adjustment Summary' report is displayed in the bottom right corner:

Least Squares Adjustment Summary	
C:\Users\Anjanethi\Desktop\TESIS	10/7/2017 3:09:00 p. m.
VIDEO\EstaticoTesis.sgp	
Observations	18
Unknowns	9
Degrees of Freedom	9

The status bar at the bottom indicates: Adjustment complete, Meter, Hz Lambert Conformal Conic, 0.99996704, <none>, V: egm08\_25.g

22)

Finalmente, las coordenadas geográficas procesadas se muestran en la siguiente tabla de la pestaña **Positions**.

Status	Name	Longitude	Latitude	Ellipsoidal Height [m]	Remarks
<input type="checkbox"/>	bi01	089° 12' 07.16172" W	13° 43' 13.61466" N	719.073	bi01
<input type="checkbox"/>	uesp	089° 12' 11.23906" W	13° 43' 17.37108" N	704.722	uesp
<input type="checkbox"/>	WGS1.BIN	089° 12' 03.44664" W	13° 43' 18.38465" N	700.726	SITE#
<input type="checkbox"/>	WGS2.BIN	089° 11' 59.00365" W	13° 43' 17.51270" N	700.735	SITE#

**23)**

Para obtener coordenadas planas, se debe dar clic derecho y seleccionar la opción **Coordinate Display ► Projected Lambert Conformal Conic**

Observations   Vectors   <b>Positions</b>						
<input type="checkbox"/>	Status	Name ▲	Longitude	Latitude	Ellipsoidal Height [m]	Remarks
<input type="checkbox"/>	▲	bi01	089° 12' 07.16172" W	13° 43' 13.61466" N	719.073	bi01
<input checked="" type="checkbox"/>	▲	uesp				
<input type="checkbox"/>	▲	WGS1.BIN				
<input type="checkbox"/>	▲	WGS2.BIN				

**24)**

Automáticamente las coordenadas geográficas se cambiarán a planas en la pestaña **Positions**.

Observations   Vectors   <b>Positions</b>						
<input type="checkbox"/>	Status	Name ▲	Easting [m]	Northing [m]	Orthometric Height [m]	Remarks
<input type="checkbox"/>	▲	bi01	478151.029	288754.326	717.557	bi01
<input checked="" type="checkbox"/>	▲	uesp	478028.626	288869.869	703.203	uesp
<input type="checkbox"/>	▲	WGS1.BIN	478262.769	288900.821	699.209	SITE#
<input type="checkbox"/>	▲	WGS2.BIN	478396.233	288873.913	699.219	SITE#

### 5.2.3 Método Estático - Rápido.

Para el desarrollo de esta técnica se seleccionan dos sitios sobre la plaza frente a la facultad de Medicina de la Universidad de El Salvador con el objetivo de establecer dos puntos de referencias geodésicos a facultades aledañas.

Para el establecimiento de los vértices geodésicos se aplicó el procedimiento descrito en el subcapítulo 5.1.1.

#### – Reconocimiento.

Se selecciona un vértice geodésico con coordenadas conocidas (**FIA1**), verificando que la distancia hasta los puntos del levantamiento no exceda los 20 kilómetros.

En los dos sitios para establecer los puntos geodésicos no se proyectan modificaciones y son adecuados para la recolección de observaciones GNSS.

Dichos puntos se muestran en el siguiente croquis de ubicación (Figura 5.20), se denominan **ME01 y ME02**, ambos se encuentran frente a la entrada principal del edificio de la Facultad de Medicina, a una distancia aproximada de 500 metros del vértice **FIA1**. El lugar se encuentra en la zona urbana, es de fácil acceso para el traslado del equipo satelital y cuenta con los servicios básicos.





– **Medición.**

- **Instalación del Equipo**

El proceso de instalación del equipo sobre los puntos a establecer coordenadas es igual al que se presenta en el subcapítulo 5.2.2 técnica de medición estática.

- **Toma de datos.**

La configuración de los receptores y el procedimiento de medición en la aplicación SurvCE es igual al visto en la técnica de medición estática. Sin embargo, se debe considerar los siguientes aspectos:

- a. En el receptor de la estación de referencia, para el tiempo de medición, seleccionar en “Cerrar Marca S” la opción “Manual”, para detener las observaciones una vez finalizado el periodo de duración del levantamiento de todos los puntos. (Ver paso 14 en el proceso de toma de datos de la medición estática).
- b. Transcurrido el tiempo de observación en un punto de interés, se cierra el fichero de dicho punto y el receptor móvil se traslada hasta otro punto a levantar.
- c. Para cada punto del levantamiento seleccionar la opción “Iniciar fichero” y marcar la casilla “Nuevo”, designar el nombre del fichero, revisar parámetros como “Altura de Antena” y hacer clic en Aceptar. Seguido de “Marcar punto” e ingresar el nombre del sitio donde se encuentra el punto. (Ver pasos del 11-14 de la técnica de medición estática).

– **Postproceso.**

Los datos de observación de cada punto, quedan almacenados en las memorias extraíbles.

La metodología para transformar las coordenadas de navegación obtenidas en la medición a coordenadas reales de los puntos, presenta gran similitud al visto en la técnica de medición Estática, sin embargo, se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- En esta técnica el software procesa los datos en forma radial a partir de la estación de referencia, es decir, se forma un vector por cada punto levantado cuyo origen será un punto con coordenadas conocidas.
- Debido a los tiempos cortos de observación el software no permite utilizar las efemérides precisas. Por lo tanto, se debe seguir el proceso del paso 17 y en el paso 18 desactivar la opción Efemérides Precisas.
- En esta técnica no es posible utilizar la opción Network Adjustment, las coordenadas reales se obtienen al momento que los iconos de los puntos se muestran en color amarillo.

#### **5.2.4 Método Cinemático en Tiempo Real. (RTK).**

– **Medición.**

- **Instalación del Equipo.**

- 1) Fijar el soporte y enroscar la extensión de la antena al receptor base y al móvil (Figura 5.22).



*Figura 5.22: Acople de extensión de antena a receptor*

- 2) Enroscar la antena al soporte en cada receptor (Figura 5.23)



*Figura 5.23: Colocación de antena.*

3) El procedimiento de instalación de los receptores en los puntos es el mismo descrito en la técnica de medición estática, con la peculiaridad que en este método de medición el receptor base permanece fijo, correctamente centrado y nivelado en el punto de coordenadas conocidas y el móvil se coloca en los puntos a levantar. El receptor móvil se instala en un bastón con burbuja de nivelación (figura 5.24), sin embargo, para trabajos que requieren mayores precisiones se recomienda utilizar el sistema trípode-bastón.





*Figura 5.24: configuración del receptor móvil en trabajos que no requieran alta precisión.*

**- Configuración del sistema de proyección local**

Esta técnica requiere que antes de realizar la medición se configure el sistema de proyección Cónico Conforme de Lambert SIRGAS ES-2007, para obtener

coordenadas planas (x,y) reales. El procedimiento para realizar esta configuración se describe a continuación.

<p><b>1)</b></p> <p>En el menú configuración, seleccionar la opción 6 “Localización”.</p>	<p><b>2)</b></p> <p>En la pestaña “Sistema” dar clic en “Editar Lista Proyecciones”.</p>
 <p>TRA:RTKP</p> <p>1 Est. Total    6 Localización</p> <p>2 Base GNSS    7 Monitor SAT.</p> <p>3 Móvil GNSS    8 Tolerancias</p> <p>4 Utilds Recep GNSS    9 Periféricos</p> <p>5 Configurar    0 About SurvCE</p>	 <p>Localización</p> <p>Puntos    Por Helmert</p> <p>Sistema    TS    GPS</p> <p>Proyección:    <b>Editar Lista Proyecciones</b></p> <p>SIRGAS-ES2007</p> <p>Proyección: Lambert_Conformal_Conic</p> <p>Datum:    LAMBERT SIRGAS-</p> <p>Elipsoide    WGS84~1</p> <p><input type="checkbox"/> Convertir WGS84 a NAD83</p>

3)

Introducir el nombre del sistema de proyección, seleccionar el sistema de proyección, introducir todos los parámetros que lo definen, finalmente seleccionar la opción “Editar/Ver Datum” para configurar el datum.

4)

En esta ventana ingresar el nombre del datum y seleccionar el elipsoide. Finalmente dar clic en Aceptar.

Editar/Ver Sistema

Sistema: SIRGAS-ES2007

Proyección: Lambert Conformal Cor

Datum: LAMBERT SIRGAS-ES2007

Editar/Ver Datum Definido Usuario

Paralelo N: 14.25096600

Paralelo S: 13.31763267

Meridiano C.: -88.99998297

Lat. del Origen: 13.78429934

Falso Norte: 295809.184 m

Falso Este: 500000 m

Defini..oordenadas

Nombre: LAMBERT SIRGAS-ES2007

Elipsoide: WGS84~1

a: 6378137 m

1/f: 298.257223562776

F.Escala (ppm): 0

dX: 0 m rot X: 0"

dY: 0 m rot Y: 0"

dZ: 0 m rot Z: 0"

Fichero GSF respecto a WGS84

5)

Verificar que todos los parámetros estén configurados correctamente y dar clic en Aceptar.

Editar/Ver Sistema

Sistema: SIRGAS-ES2007

Proyección: Lambert Conformal Conic

Datum: LAMBERT SIRGAS-ES2007

Editar/Ver Datum Definido Usuario

Paralelo N: 14.25096600

Paralelo S: 13.31763267

Meridiano C.: -88.99998297

Lat. del Origen 13.78429934

Falso Norte: 295809.184 m

Falso Este: 500000 m

6)

En esta ventana aparecerá el sistema de proyección creado recientemente, seleccionarlo y dar clic en Aceptar.

Coordenadas Proyección

Nombre	Fue...
SV	Usuario
USA/NAD83/KY North	Carlson
SIRGAS-ES2007	Usuario

Borrar Añad. Predefinida

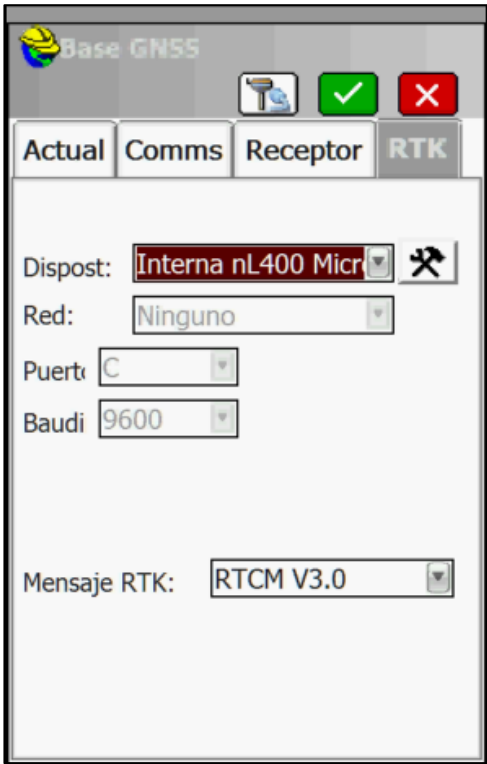
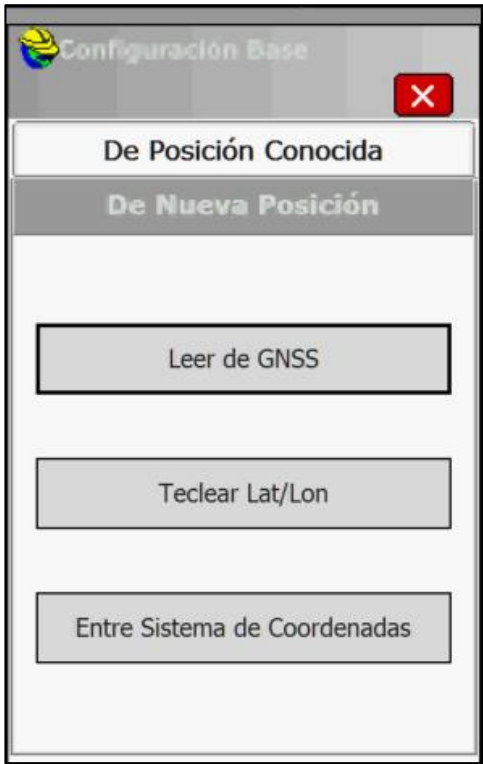
Edita Añad. Defind. p/Usuario

### - Toma de datos.

Para llevar a cabo la medición en esta técnica, se debe configurar el equipo en dos partes, primeramente, se configura el Receptor BASE en el colector con todos los parámetros relevantes; como la altura de la antena, la máscara



de elevación y el tipo de conexión entre colector y receptor. La primera etapa de configuración de la BASE es igual a la realizada en la técnica de medición estática, desde el paso 1 al 7.

<p><b>8)</b></p> <p>En la pestaña “RTK”, se selecciona el tipo de antena a utilizar en la medición y dar clic en aceptar.</p>	<p><b>9)</b></p> <p>En este cuadro de dialogo seleccionar la opción “Teclear Lat/Lon”, para introducir las coordenadas geográficas y elevación elipsoidal de la estación de referencia.</p>
	

**10)**

Introducir las coordenadas geográficas en grados, minutos y segundos (gg.mm.ss) y la elevación elipsoidal en metros. Finalmente, clic en Aceptar.

Introd. Lat/Lon

Use formato gg.mmssss

Latitud: N 13°43'17.37107

Norte  Sur

Longitud: W 89°12'11.2390

Oeste  Este

Alt.: 704.722 m

Elipsoide  Ortométrica

**11)**

En este cuadro de dialogo se ingresa el nombre de la estación de referencia y su descripción, y al dar clic en Aceptar se guarda este punto en el fichero del proyecto. Finalmente seleccionar la opción "Si" para arranque de Base.

Configuración Base

RTK ID Emisora: 0

Latitud: N 13°43'17.37107''

Grabar Punto

ID. Punto: UES

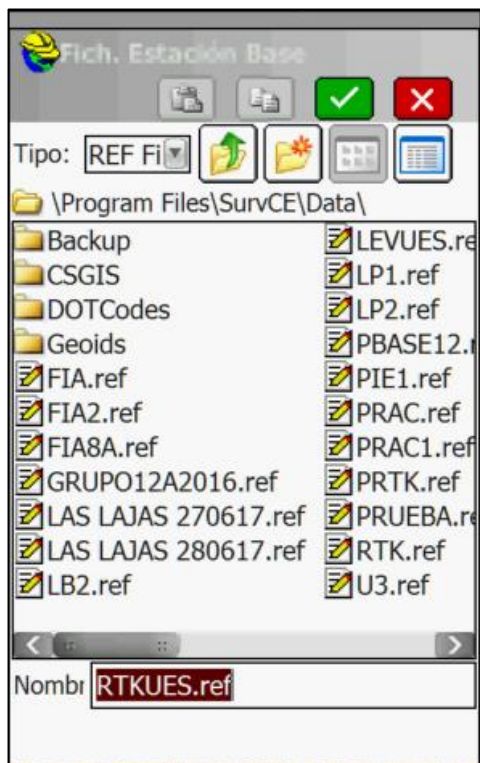
Descripción: VG

¿Continuar con Arranque de Base?

Si No

12)

Finalmente se debe ingresar el nombre del fichero del proyecto y dar clic en Aceptar.



13)

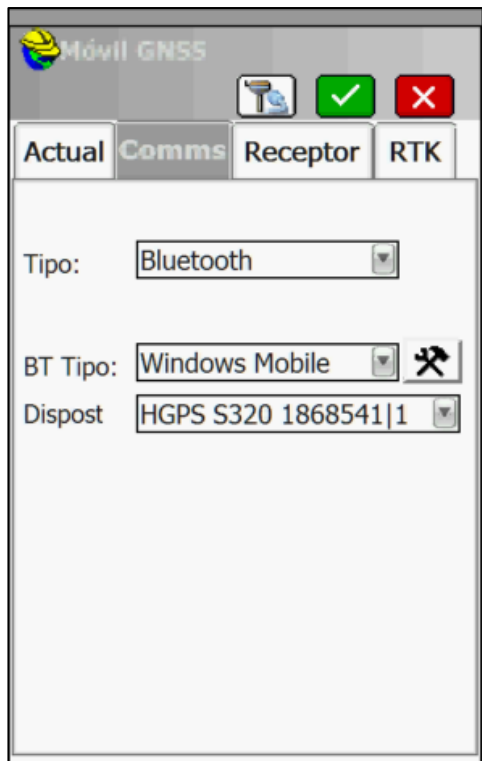
Seleccionar la opción “Movil GNSS” para configurar los parámetros del equipo que funcionara como Rover (Movil).



14)

En la pestaña “Comms”, seleccionar el tipo de comunicación entre el receptor y colector, para la técnica RTK se recomienda que sea mediante bluetooth. Seleccionar el equipo correspondiente al Rover.

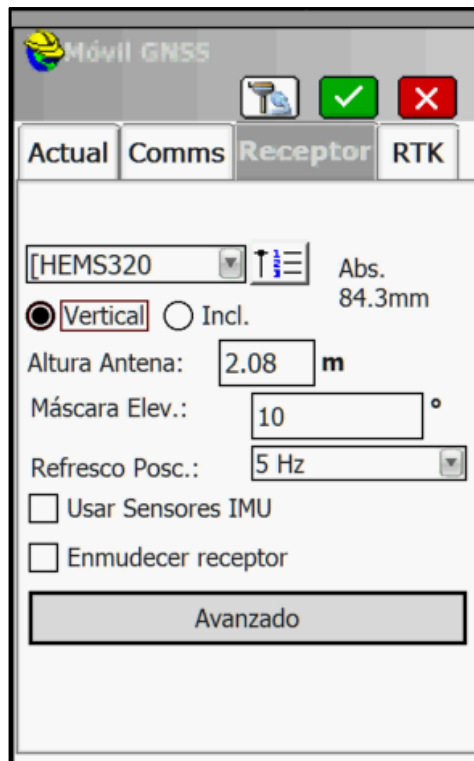
Nota: El colector y el Rover deben permanecer a una distancia no mayor a tres metros entre sí.



15)

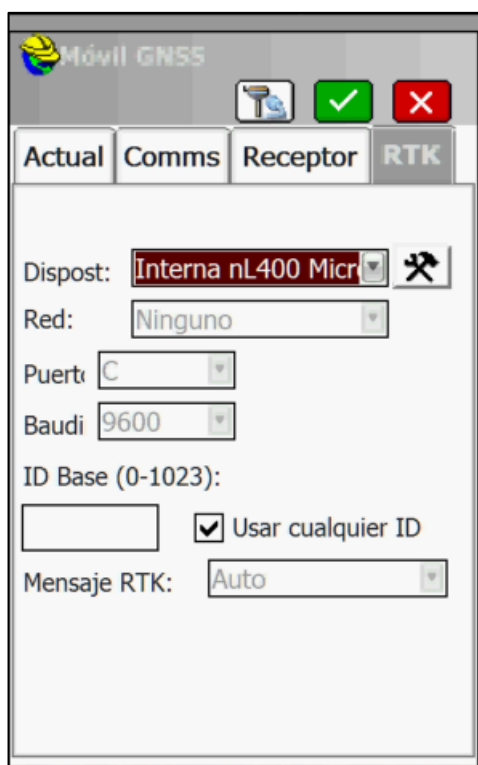
La altura del equipo y la forma de medición de esta se configura en la pestaña “Receptor”.

Nota: La altura del Rover debe medirse de manera vertical y seleccionar la opción “Vertical”



16)

Al igual que la Base, para el Rover en la pestaña “RTK”, se selecciona el tipo de antena a utilizar en la medición y dar clic en Aceptar.



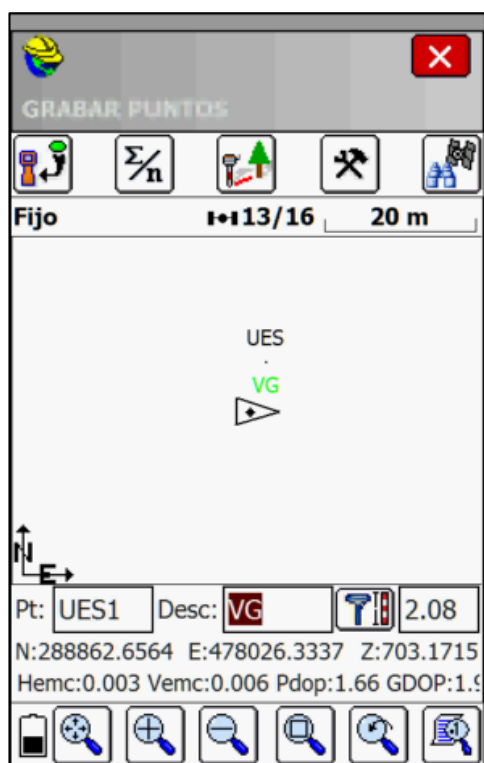
17)

Una vez configurada la Base y el Rover, seleccionar en el menú Medición, la opción 1 “Levantamiento”.




18)

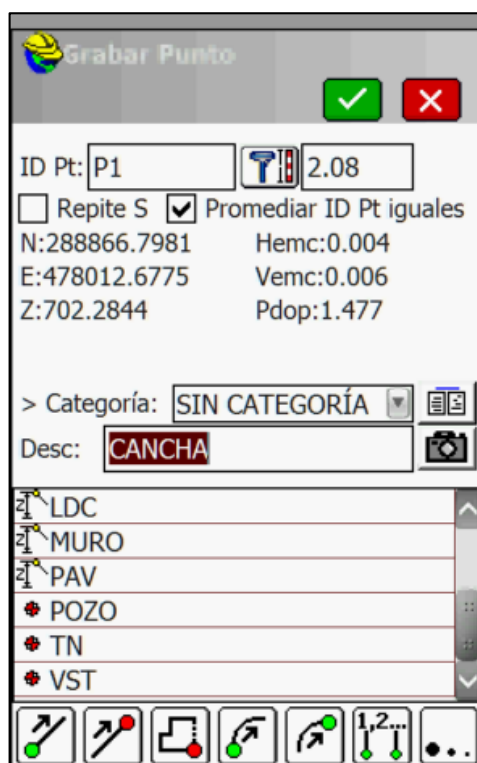
En la pantalla se observa la estación de referencia, las coordenadas planas del punto donde se encuentra el Rover y parámetros de precisión vertical y horizontal (Vemc y Hemc respectivamente)




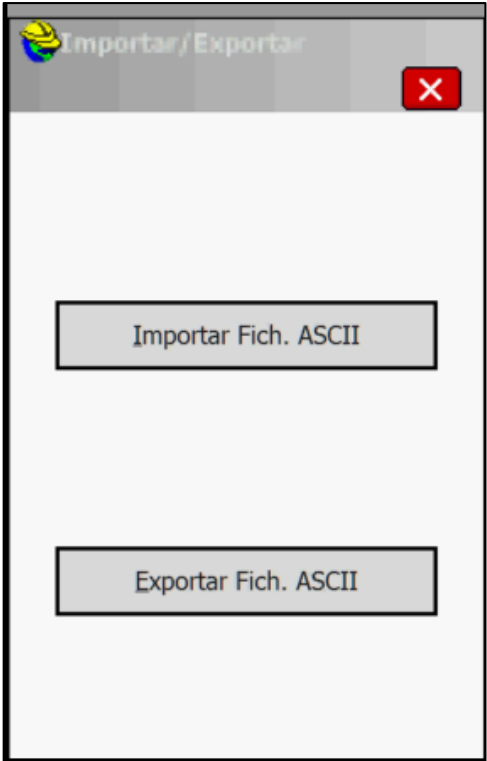
19)


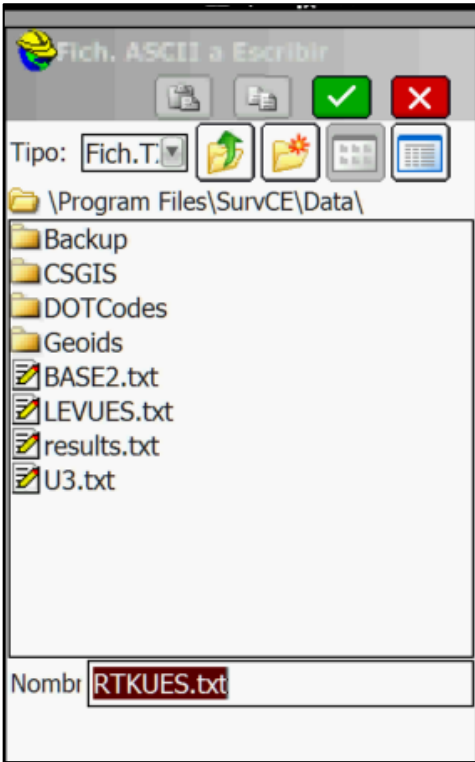
Para guardar un punto en particular, basta con dar clic en la opción  cuando aparezca la palabra “fijo” bajo esta opción.

Se deberá ingresar el nombre y descripción del punto y finalmente clic en Aceptar, retornará a la pantalla del paso 18 y finalmente clic en Salir.



**- Exportar Datos.**

<p><b>1)</b></p> <p>Para la descarga de datos del levantamiento debe conectarse mediante cable USB a una computadora.</p> <p>Posteriormente seleccionar la opción 7 “Import. Export” del menú principal 1.</p>	<p><b>2)</b></p> <p>Seleccionar la opción “Exportar fichero. ASCII”</p>
	

<p><b>3)</b></p> <p>En la pantalla siguiente, se debe elegir el tipo de fichero, el separador, el orden en que aparecerán los datos y el rango de puntos a exportar. Finalmente, clic en Aceptar</p>	<p><b>4)</b></p> <p>Ingresa el nombre del archivo con extensión *.txt y selecciona la ubicación donde se guardará la información. Dar clic en Aceptar.</p>
	



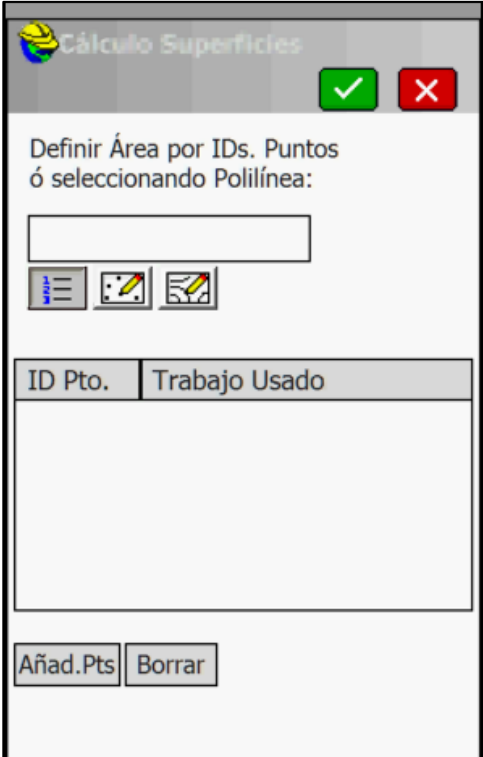
### – Aplicaciones de la técnica RTK

Dentro de las técnicas de medición satelital, la que más aplicaciones aporta al área de la topografía es la técnica RTK (Cinemática en Tiempo Real), ya que



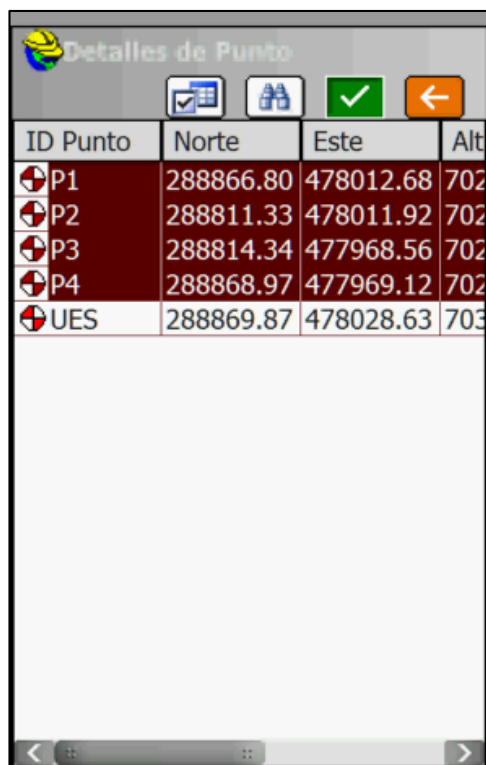
permite hacer diversos cálculos con los puntos del levantamiento directamente desde el colector. Entre las aplicaciones más relevantes se tiene:

### A. Cálculo de áreas.

<p>1) Seleccionar el menú <b>Calcular</b>, la opción 3 “<b>Áreas</b>”.</p>	<p>2) Dar clic en la opción,  donde aparecerán todos los puntos disponibles del levantamiento actual.</p>
 <p>The screenshot shows a software menu titled 'TRA:RTKUE5'. It contains several options, with '3 Áreas' highlighted in grey. The options are: 1 Teclar Coord., 2 Punto Inverso, 3 Áreas, 4 Intersección, 5 Proy. Pto./Linea, 6 Cálculo P.K., 7 Transformar, 8 Calculadora, 9 Radiac. Manual, and 0 Promedio Puntos.</p>	 <p>The screenshot shows a dialog box titled 'Cálculo Superficies'. It has a green checkmark and a red X button. The text inside says 'Definir Área por IDs. Puntos ó seleccionando Polilínea:'. Below this is a text input field. There are three icons below the input field: a list icon, a pencil icon, and a line icon. Below these is a table with two columns: 'ID Pto.' and 'Trabajo Usado'. The table is currently empty. At the bottom of the dialog are two buttons: 'Añad.Pts' and 'Borrar'.</p>

3)

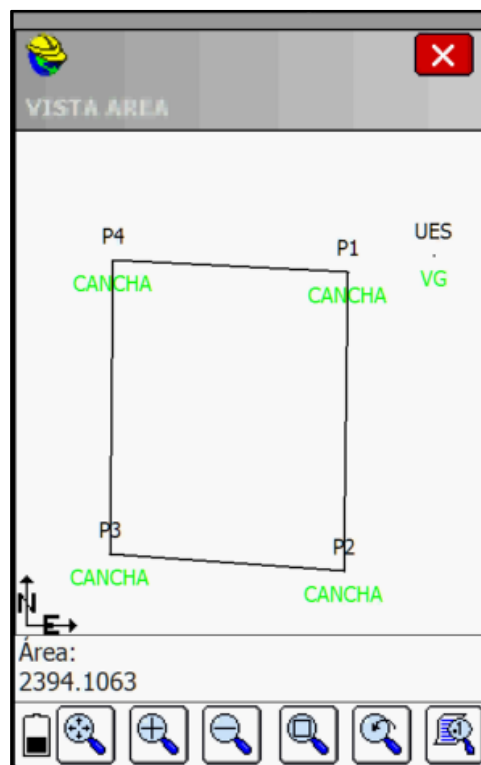
Seleccionar los puntos que formaran parte de la poligonal a la cual se determinara el área y dar clic en Aceptar.



ID Punto	Norte	Este	Alt
P1	288866.80	478012.68	702
P2	288811.33	478011.92	702
P3	288814.34	477968.56	702
P4	288868.97	477969.12	702
UES	288869.87	478028.63	703

4)

Se retornará a la pantalla del paso 2 y se debe dar clic en Aceptar, inmediatamente aparecerá el dibujo de la poligonal y el área en metros cuadrados.

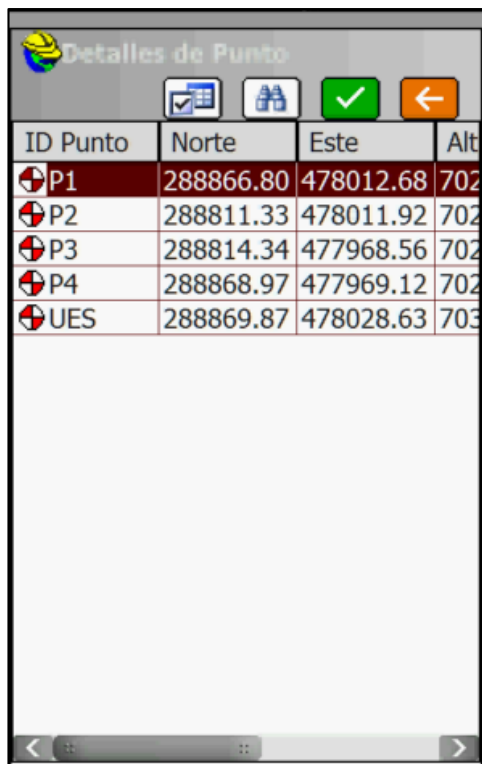


## B. Replanteo de Puntos.

<p>1)</p> <p>Seleccionar el menú Medición, la opción 2 “Replanteo Puntos”.</p>	<p>2)</p> <p>Dar clic en la opción,  donde aparecerán todos los puntos disponibles del levantamiento actual y seleccionar uno de ellos, también puede introducirse de forma manual las coordenadas del punto a replantear.</p>
 <p>The screenshot shows the main menu of the software. At the top, there is a status bar with 'TRA:RTKL125' and icons for battery, signal, and globe. Below this is a row of icons representing different surveying functions. The main menu consists of several numbered options:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1 Levantami...</li> <li>2 Replanteo Puntos</li> <li>3 Repl. Alins/ Arcos</li> <li>4 Repl. Desplazados</li> <li>5 Replanteo MDT</li> <li>6 Levantam. Automático</li> <li>7 Post-Proceso</li> <li>8 Nivelación</li> </ul>	 <p>The screenshot shows the 'Replanteo Puntos' dialog box. It has a title bar with a green checkmark and a red X. The main area contains the following fields and controls:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ID. Puntos: [Text input field]</li> <li>Buttons: 'Añadir a Lista' and 'Selec.de Lista'</li> <li>Coordinates: Norte: [Text input field], Este: [Text input field], Altitud: [Text input field]</li> <li>Descripción: [Text input field]</li> <li>Checkbox: <input type="checkbox"/> Punto por Dirección</li> <li>Angles: Azimut: [Text input field], Pend.: [Text input field]</li> <li>Distance: &gt; Distanci... [Text input field]</li> </ul>

3)

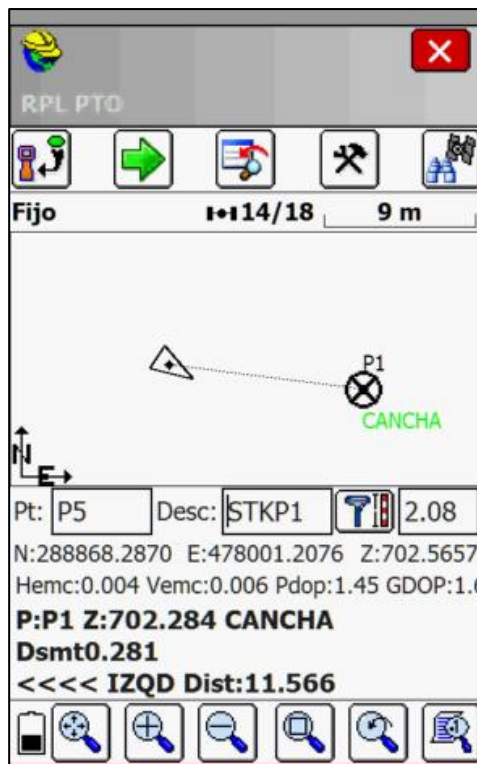
Para este ejemplo se seleccionará un punto del trabajo actual, para ello dar clic sobre el punto y clic en Aceptar.



ID Punto	Norte	Este	Alt
P1	288866.80	478012.68	702
P2	288811.33	478011.92	702
P3	288814.34	477968.56	702
P4	288868.97	477969.12	702
UES	288869.87	478028.63	703

4)

Se retornará a la pantalla del paso 2 y se debe dar clic en Aceptar, inmediatamente aparecerá el punto a replantear, así como la distancia del Rover al punto.



RPL PTO

Fijo 14/18 9 m

Pt: P5 Desc: STKP1 2.08

N:288868.2870 E:478001.2076 Z:702.5657

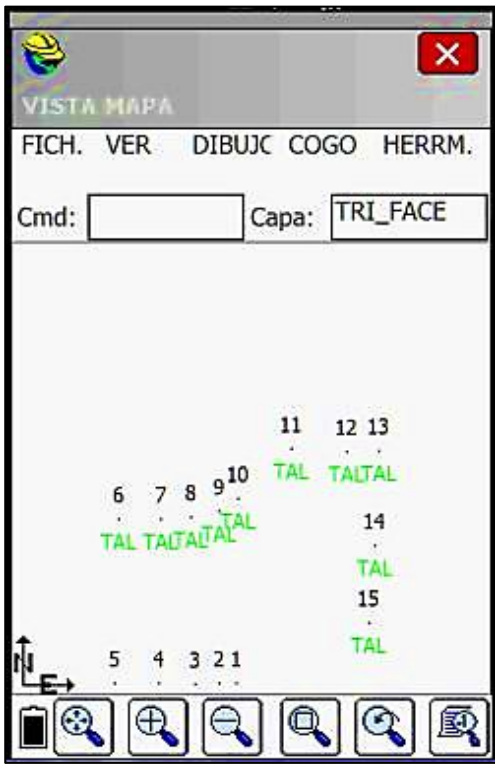
Hemc:0.004 Vemc:0.006 Pdop:1.45 GDOP:1.6

**P:P1 Z:702.284 CANCHA**

**Dsmt0.281**

<<<< IZQD Dist:11.566

### C. Curvas de Nivel.

<p>1)</p> <p>Realizado un levantamiento con RTK, se puede generar curvas de nivel, para ello seleccionar la opción  para ingresar a la pantalla Vista Mapa.</p>	<p>2)</p> <p>Se muestra la siguiente pantalla, en la que se observa puntos del levantamiento y una serie de pestañas en la parte superior.</p>
	

3)

Seleccionar la pestaña “HERRM”, y hacer clic en la opción “Superficie”.



4)

En la opción “Superficie”, seleccionar “Triangulac.\_Curvado”.



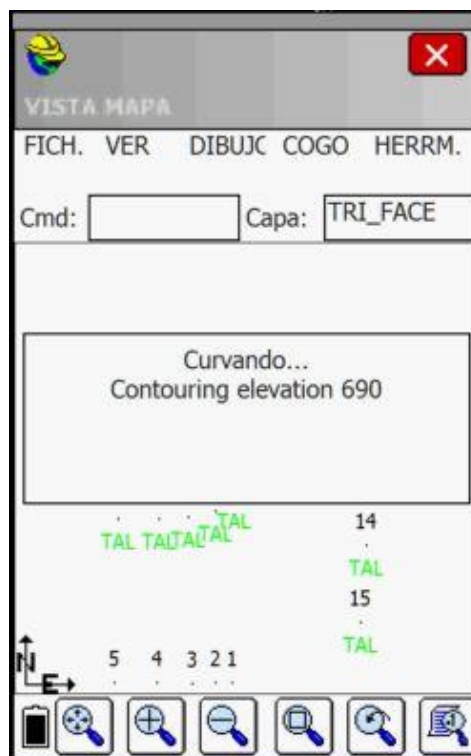
5)

En la pantalla verificar que estén marcadas las opciones “Punto”, “Ver curvado”, “Curvas” y “Lin. de Rotura”.

En la opción Intervalo, ingresar en metros la distancia de triangulación según las condiciones del terreno y densidad de curvas. Clic en Aceptar.

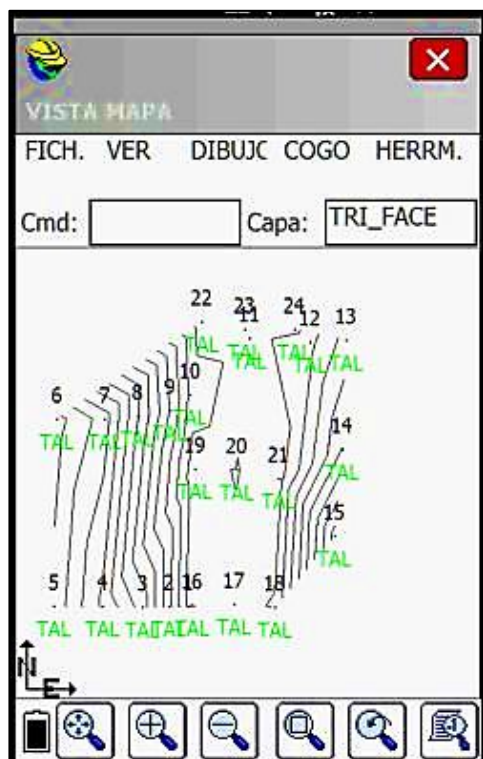
6)

Se muestra en pantalla el proceso realizado por el software. Se debe esperar cierto tiempo para obtener dichas curvas.



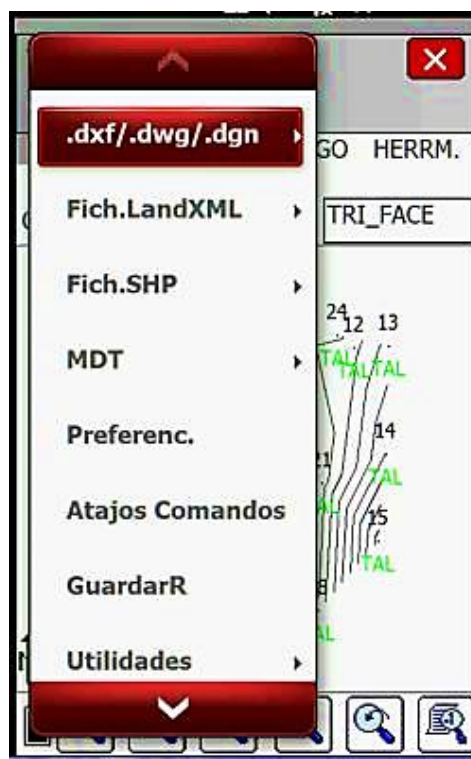
5)

Terminado el proceso, se muestran en pantalla las curvas de nivel detalladas del terreno.



6)

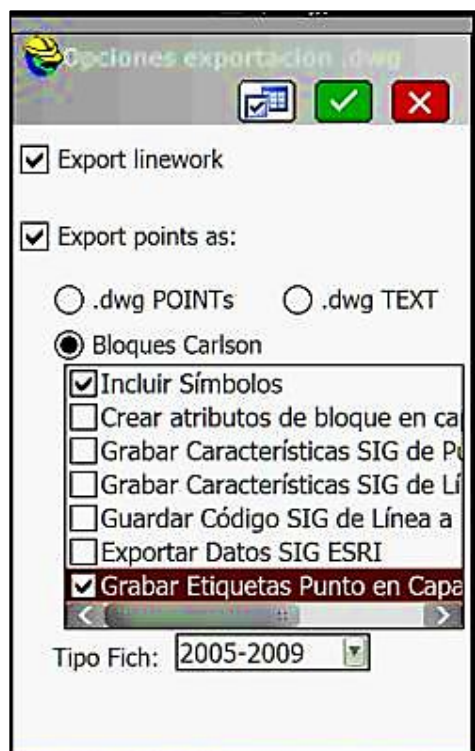
Para exportar el levantamiento de un terreno con sus curvas de nivel en formato compatible para un software de dibujo. Ingresar a la pestaña "FICH" del paso 2, seleccionar la opción ".dxf/.dwg/.dgn".





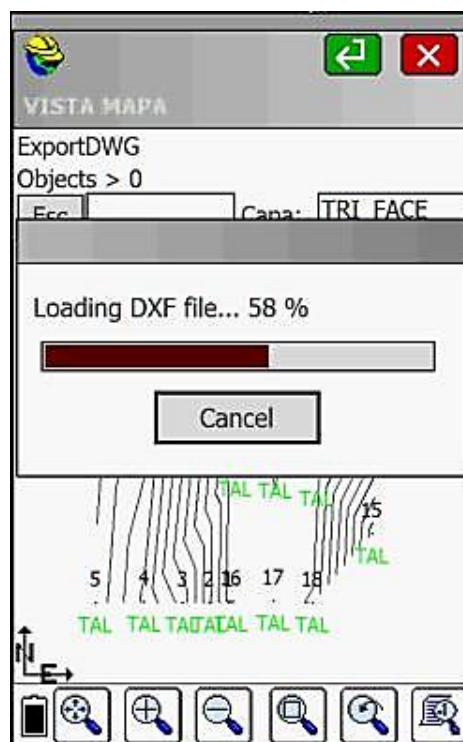
7)

Verificar que estén marcadas las opciones que se muestran en pantalla. Hacer clic en Aceptar.



8)

Esperar un lapso para que se termine el proceso de exportación. Hacer clic en Volver o Salir.



## CAPITULO VI

### ANÁLISIS COMPARATIVO DE LEVANTAMIENTOS GEORREFERENCIADOS CON ESTACIÓN TOTAL RESPECTO A MEDICIONES CON GPS EN TÉCNICA RTK.

Para el desarrollo de este capítulo se determina una red o poligonal geodésica, que se utiliza como base para la comparación entre los tipos de mediciones, por ende, se presentan algunos conceptos básicos sobre estas.

Sobre dicha poligonal cerrada se realizan los levantamientos con ambos equipos, se establecen coordenadas con el GPS de doble frecuencia empleando la técnica RTK en cada vértice y posteriormente con la Estación Total. Dicho proceso de medición se detalla en los subcapítulos 6.3 y 6.4.

#### 6.1 Conceptos generales de poligonales.

##### Poligonales.

- Es una sucesión de líneas quebradas, conectadas entre sí en los vértices.
- Es una sucesión encadenada de radiaciones, donde se debe obtener como resultado final las coordenadas de los puntos de estación.

El uso de poligonales es uno de los procedimientos topográficos más comunes. Se usan generalmente para establecer puntos de control y puntos de apoyo para el levantamiento de detalles y elaboración de planos, para el replanteo de proyectos y para el control de ejecución de obras.

### Clasificación de poligonales.

En forma general, las poligonales pueden ser clasificadas en:

#### – Poligonales Abiertas Sin Control

En las cuales no es posible establecer los controles de cierre (las líneas no regresan al punto de partida), ya que no se conocen las coordenadas del punto inicial y/o final, o no se conoce la orientación de la alineación inicial y/o final (Figura 6.1).

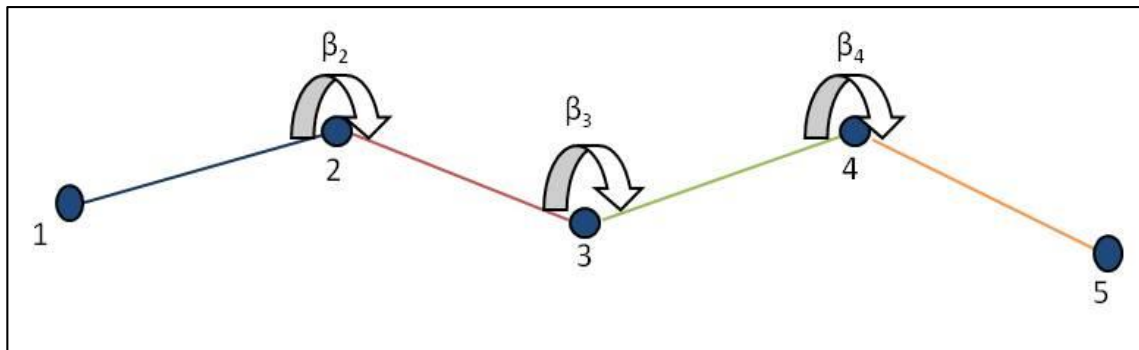
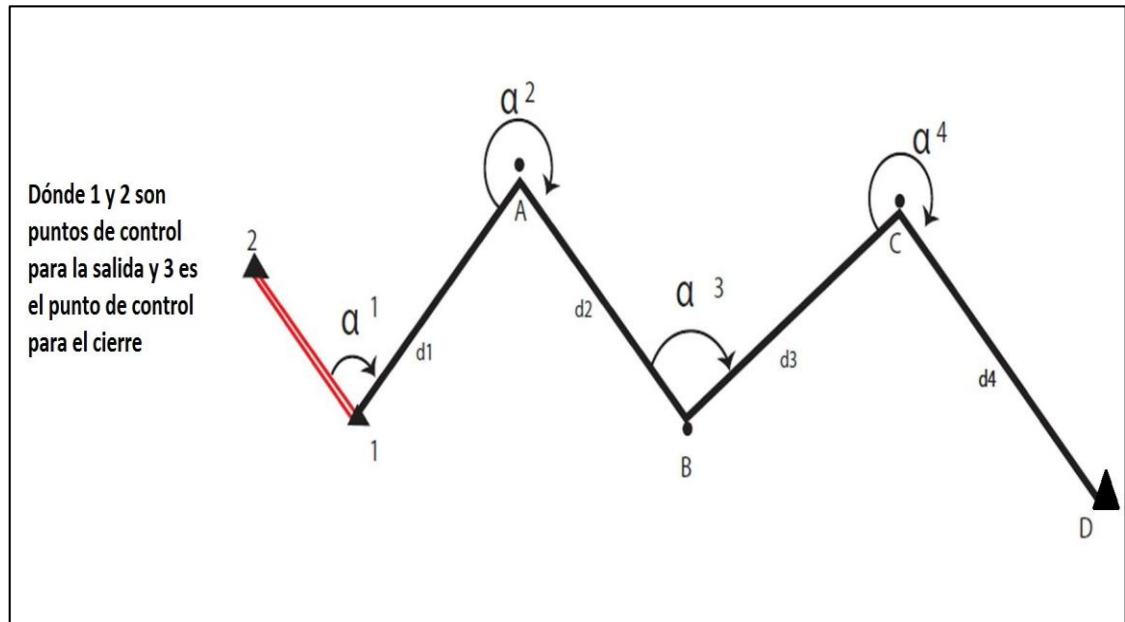


Figura 6.1: Poligonal abierta sin control

#### – Poligonales Abiertas con Control

Este tipo de Poligonal se le conoce como poligonal abierta geoméricamente, pero cerrada geodésicamente, es decir las líneas parten de 2 estaciones geodésicas y cierran en 1 ò 2 estaciones al final (Figura 6.2), siendo posible efectuar los controles de cierre angular y lineal.



*Figura 6.2: Poligonal abierta con control geodésico*

### – Poligonales Cerradas

En las cuales el punto de inicio es el mismo punto de cierre (Figura 6.3), formando así un polígono geométrica y analíticamente cerrado, proporcionando además control de cierre angular y lineal.

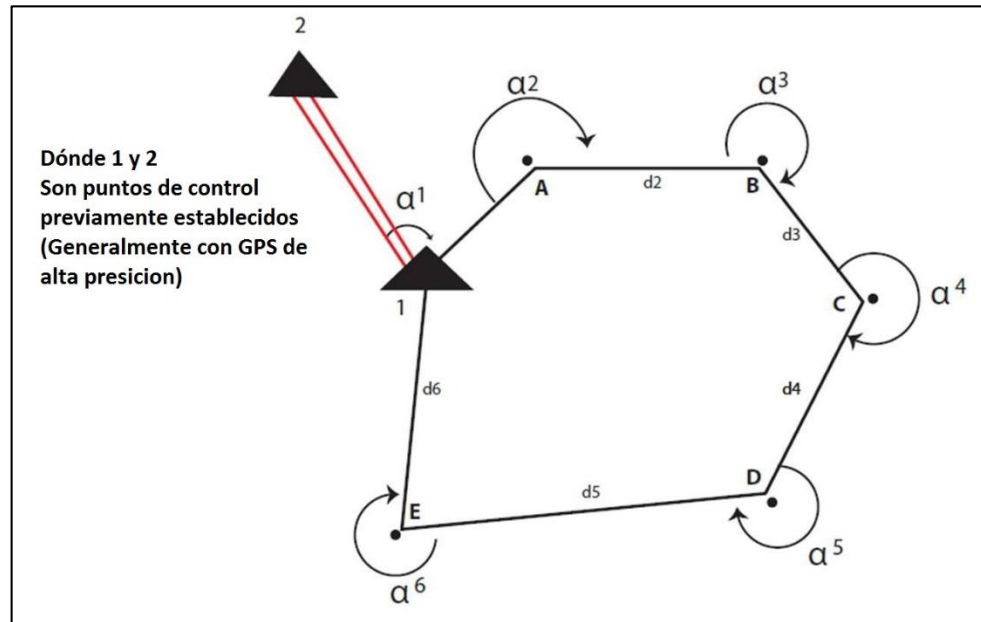


Figura 6.3: Poligonal Cerrada con control geodésico

### La utilidad de las poligonales

Una de las aplicaciones más importantes de la Geodesia es el establecimiento de vértices con coordenadas conocidas sobre la superficie terrestre (Figura 6.4), definiendo un marco geodésico de alta precisión. Estos vértices geodésicos usualmente están muy separados entre si, y por lo general se ubican en monumentos, plazas o sitios importantes de las ciudades, municipios o pueblos.



*Figura 6.4: Vértices Geodésicos*

Frecuentemente es necesario realizar el arrastre de coordenadas, a partir de estos vértices de referencia, hacia sitios donde está planificado ejecutar proyectos de diversa índole, con el objetivo de contar con una referencia geométrica horizontal y vertical en dichas zonas. Una de las formas de densificación o arrastre de coordenadas más efectivas es utilizar poligonales cerradas con amarre geodésico.

Este tipo de poligonal usualmente se realiza con estación total, y se amarra a dos puntos de coordenadas conocidas, lo que permite la realización del ajuste y compensación de errores de medición, y la obtención de resultados precisos. También se realizan utilizando equipo GPS satelital, usualmente en la técnica de medición RTK, se ubica un receptor en una estación de coordenadas conocidas

y con una estación móvil se determinan las coordenadas de los puntos que forman la poligonal; los resultados son bastante precisos.

Por ser un método eficaz para el traslado de coordenadas, este tipo de poligonal es de mucha utilidad en el área de ingeniería civil, para el cálculo preciso de áreas y perímetros de terrenos, establecimiento de puntos de control para los trabajos topográficos antes, durante y después de la construcción de obras, como carreteras, ferrocarriles, edificios, puentes, canales, etc.

En general estas poligonales son útiles para todo tipo de aplicaciones o proyectos en los que se necesite realizar traslado de coordenadas hacia sitios de interés.

## **6.2 Poligonal cerrada con control geodésico FIAUES.**

Se sabe que las poligonales o redes geodésicas son de gran importancia y utilidad en nuestro medio, ya sea para aplicaciones geodésicas o topográficas en general, por ende, se establece una poligonal cerrada en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador Campus Central denominada POLIGONAL FIAUES (Figura 6.5 y 6.6).

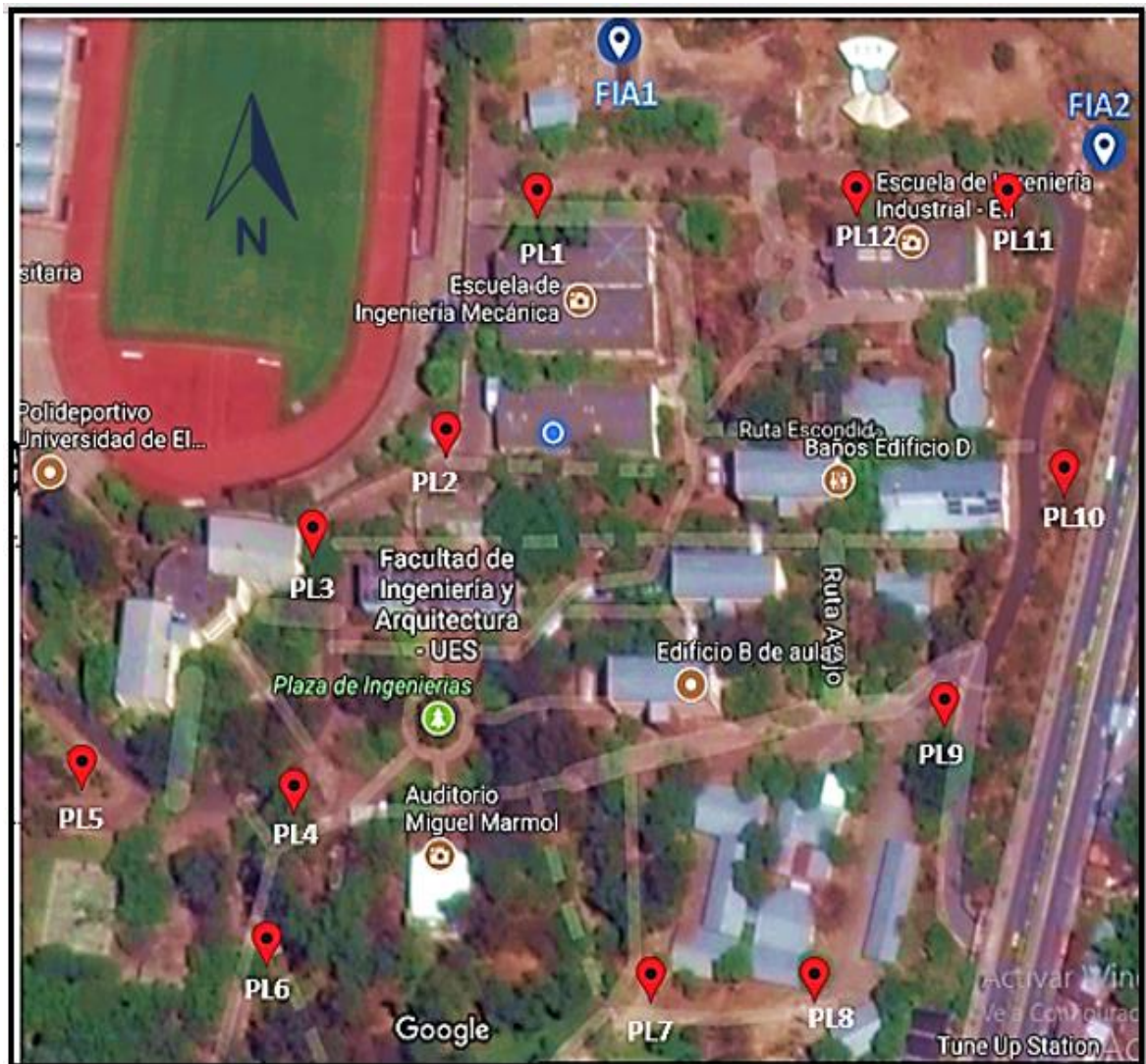
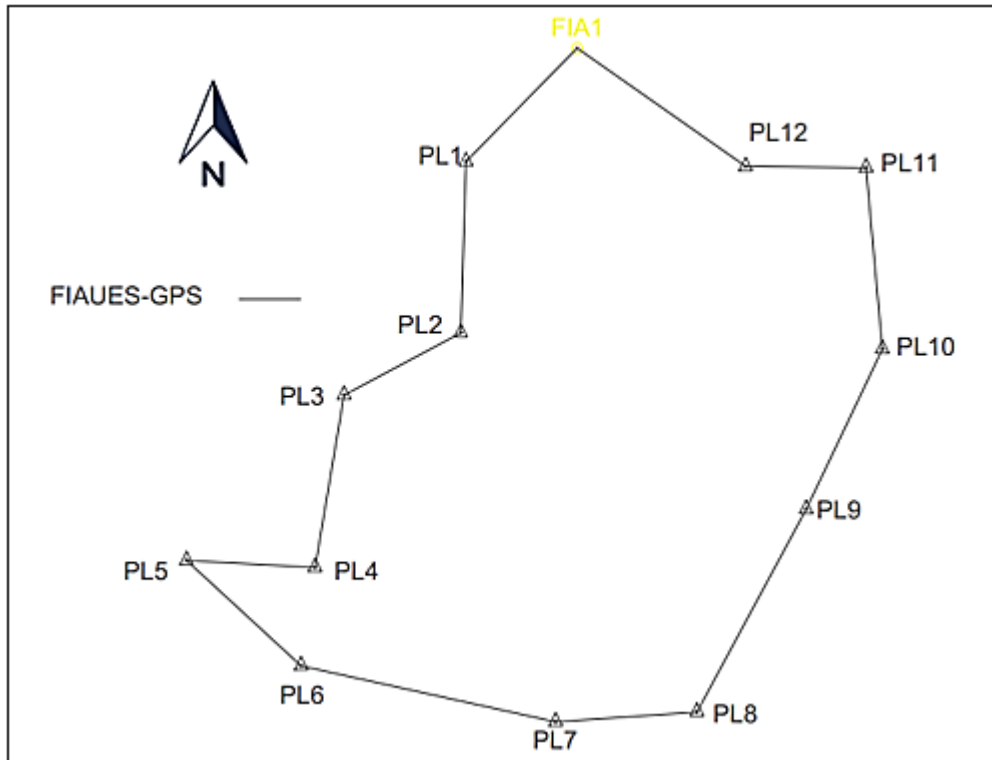


Figura 6.5: Puntos que conforman poligonal FIAUES





*Figura 6.6: Vista de poligonal cerrada FIAUES*

### **Visita de campo y selección de sitios.**

Para lograr establecer la poligonal, primeramente, se realizó un recorrido por la Facultad de Ingeniería y Arquitectura seleccionando aquellos sitios donde es posible realizar mediciones con al menos una técnica satelital y procurando que los puntos sean visibles entre sí, y que algunos de los vértices estén cercanos a los puntos geodésicos FIA1 y FIA2 para emplear el uso de la Estación Total.

Se seleccionan un total de doce sitios donde se ubicarán los vértices de la poligonal, distribuidos perimetralmente en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, verificando que estos sean de fácil acceso y que sea posible

establecer una marca permanente, ya sea un monumento o perno para determinar las coordenadas de los puntos.

### **Monumentación de Vértices de la poligonal.**

Una vez verificados los sitios donde colocar los vértices de la poligonal, se procede a construir monumentos sencillos y prácticos para establecer físicamente la poligonal geodésica FIAUES.

Para dicha red se ocuparán tres tipos de marcas; Pernos con centro marcado, Monumentos existentes y Mojoneros de concreto simple con perno incrustado.

(Figura 6.7)



*Figura 6.7: Tipos de mojoneros que conforman poligonal FIAUES*

A continuación, en la Tabla 6.1 se detalla para cada vértice de la poligonal el tipo de mojón asignado:

<b>N°</b>	<b>Nombre</b>	<b>Tipo de monumento</b>	<b>N°</b>	<b>Nombre</b>	<b>Tipo de monumento.</b>
1	<i>FIA1</i>	Mojón de Concreto	8	<i>PL7</i>	Cilindro con perno.
2	<i>PL1</i>	Perno Anclado	9	<i>PL8</i>	Perno Anclado
3	<i>PL2</i>	Perno Anclado	10	<i>PL9</i>	Cilindro con perno.
4	<i>PL3</i>	Perno Anclado	11	<i>PL10</i>	Monumento Existente
5	<i>PL4</i>	Cilindro con perno.	12	<i>PL11</i>	Cilindro con perno.
6	<i>PL5</i>	Monumento Existente	13	<i>PL12</i>	Cilindro con perno.
7	<i>PL6</i>	Cilindro con perno.			

*Tabla 6.1: Tipos de mojones utilizados en cada vértice de la poligonal*

### **Equipo Utilizado**

La medición se realiza con dos tipos de equipos eficaces en levantamientos topográficos:

- Equipo GPS diferencial de doble frecuencia marca Carlson (Receptores), con todos su accesorios y elementos necesarios para la medición.
- Un colector marca Carlson.
- Estación Total.
- Prisma ensamblado en trípode.

**Descripción e información necesaria para la Poligonal Cerrada.**

Para cada proyecto de esta índole es necesario registrar información que describa el trabajo a realizar, básicamente se debe contar con los siguientes datos:

- Nombre del proyecto
- Fecha de realización
- Propietario
- Lugar o sitio del proyecto:
- Aparato y operador
- Hora de inicio y finalización de la medición.

Para cada punto medido es necesario registrar el nombre de cada vértice de la poligonal; preferentemente un correlativo, las coordenadas planas y algunos comentarios respecto a la medición.

Para cada vértice de la poligonal es necesario establecer ciertos puntos de referencia, indicando azimut y distancia al mojón, con el fin de evitar la pérdida del monumento entre la vegetación u otro factor. En la tabla 6.2 se muestra a detalle cada punto con sus referencias.

Tabla 6.2: Referencias a Cada vértice de la Poligonal FIAUES

Punto	Referencia	Azimut	Distancia (m)
<b>PL1</b>	Poste Luz	143°	3.57
	Esq. Edificio Mecánica	165°	12.30
	Pozo Alcantarillado	180°	5.85
<b>PL2</b>	Esq. Edificio Civil	55°	6.78
	Árbol de Jiote	180°	4.10
	Pozo Alcantarillado	297°	2.36
<b>PL3</b>	Pozo Alcantarillado	60°	7.82
	Poste Luz	95°	7.95
	Esquina de Muro	300°	1.27
<b>PL4</b>	Lámpara	60°	6.50
	Poste Tendido Eléctrico	235°	4.90
	Lámpara	297°	5.98
<b>PL5</b>	Poste Luz	100°	12.17
	Poste Tendido Eléctrico	170°	9.10
	Poste Tendido Eléctrico	295°	10.38
<b>PL6</b>	Poste Luz	120°	16.30
	Poste Tendido Eléctrico	220°	2.47
	Lámpara	345°	16.10
<b>PL7</b>	Poste Luz	40°	15.80
	Árbol	183°	4.80
	Poste Tendido Eléctrico	354°	8.20
<b>PL8</b>	Esq. Lab. Veterinaria	115°	8.03
	Poste Tendido Eléctrico	170°	2.60
	Esq. Lab. Ing. Alimentos	0	7.08
<b>PL9</b>	Pozo Alcantarillado	18°	10.55
	Poste Luz	105°	13.45
	Caseta de Vigilancia	158°	9.50
<b>PL10</b>	Poste Luz	18°	8.20
	Esq. Edif. Eléctrica	219°	17.06
	Esq. Edif. Eléctrica	300°	12.02
<b>PL11</b>	Poste Luz	348°	8.38
	Esq. Edif. Industrial	205°	21.05
	Esq. Edif. Industrial	253°	9.50

<b>PL12</b>	Lámpara	243°	9.84
	Árbol de Pito	265°	8.80
	Árbol Guayaba	80°	5.00

### 6.3 Trazo de poligonal con GPS.

Colocados los vértices de la poligonal FIAUES, se procede a establecer las coordenadas planas de estos puntos utilizando la técnica de medición satelital RTK (Cinemático en Tiempo Real), ya que en la zona existen muchos árboles y Edificios que impiden emplear métodos más precisos como Estático y Estático-Rápido.

Para lograr que la poligonal tenga control geodésico al medir con GPS, se toma el punto ubicado en la azotea de la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura llamado Base RTK, el cual servirá para colocar el Receptor que funcionara como BASE en esta técnica. Este receptor deberá instalarse de manera correcta y configurarse según el procedimiento visto en el Capítulo IV subcapítulo 5.2.3.

El receptor que opera como MOVIL se instala en un sistema de Trípode-Bastón, este es centrado y nivelado en cada uno de los vértices para disminuir errores en la medición.

Una vez configurados los receptores, se procede a realizar el levantamiento de cada vértice de la poligonal, siendo el punto de partida el perno que representa el punto 1 de la poligonal.

Del proceso de medición se obtiene las coordenadas planas (X, Y) Lambert SIRGAS-ES2007 de cada vértice, y estas se presentan en la tabla 6.3:

*Tabla 6.3: Coordenadas planas obtenidas con GPS (Técnica RTK)*

<b>N°</b>	<b>Nombre</b>	<b>Este(m) X</b>	<b>Norte (m) Y</b>	<b>Elev.Orto.(m)</b>
1	PL1	478221.0166	288858.1687	700.978
2	PL2	478219.0844	288793.7119	705.136
3	PL3	478175.2582	288770.3145	704.787
4	PL4	478164.3596	288705.5095	705.662
5	PL5	478116.1277	288708.1004	705.687
6	PL6	478159.1179	288668.5439	705.539
7	PL7	478254.7274	288647.4594	703.710
8	PL8	478307.7505	288651.1487	702.750
9	PL9	478348.7309	288727.4065	702.687
10	PL10	478377.3452	288787.6201	702.822
11	PL11	478371.2418	288855.8135	701.371
12	PL12	478326.0374	288856.3025	701.152

#### **6.4 Trazo de poligonal con Estación Total.**

El levantamiento se realiza utilizando estación total con colectora, siguiendo el método de poligonación, iniciando en los puntos FIA1 y FIA2, para realizar el amarre geodésico de la poligonal, y posteriormente trasladar las coordenadas a cada uno de los puntos de esta. Las coordenadas ajustadas se muestran en la Tabla 6.4.

*Tabla 6.4: Coordenadas planas obtenidas con Estación Total*

<b>N°</b>	<b>Nombre</b>	<b>Este(m) X</b>	<b>Norte (m) Y</b>	<b>Elev.Orto.(m)</b>
1	FIA1	478262.7690	288900.8210	699.209
2	PL1	478221.0014	288858.1615	701.016
3	PL2	478219.0597	288793.6930	705.174
4	PL3	478175.2492	288770.2367	704.803
5	PL4	478164.3741	288705.4503	705.694
6	PL5	478116.0718	288708.0638	705.670
7	PL6	478159.0767	288668.4686	705.553
8	PL7	478254.7097	288647.4353	703.789
9	PL8	478307.7511	288651.1414	702.672
10	PL9	478348.7391	288727.3938	702.637
11	PL10	478377.3699	288787.6153	702.768
12	PL11	478371.2700	288855.8079	701.262
13	PL12	478326.0380	288856.2510	701.069

### **6.5 Comparación de resultados de los levantamientos.**

El análisis inicia comparando las coordenadas obtenidas en ambas mediciones.

Esta comparación se realiza calculando las desviaciones de las coordenadas obtenidas con estación total en cada punto, respecto a las obtenidas con GPS y la técnica RTK (Tabla 6.5 y Figura 6.8).



*Tabla 6.5: Desviación de coordenadas de cada Vértice Geodésico*

<b>Punto</b>	<b><math>\Delta X</math> (m)</b>	<b><math>\Delta Y</math> (m)</b>	<b><math>\Delta Elev</math> (m)</b>
PL1	0.0152	0.0072	0.037
PL2	0.0247	0.0189	0.037
PL3	0.0090	0.0778	0.016
PL4	0.0145	0.0592	0.032
PL5	0.0559	0.0366	0.017
PL6	0.0412	0.0753	0.014
PL7	0.0177	0.0241	0.079
PL8	0.0006	0.0073	0.078
PL9	0.0082	0.0127	0.050
PL10	0.0247	0.0048	0.054
PL11	0.0282	0.0056	0.109
PL12	0.0006	0.0515	0.082
<b>Prom</b>	<b>0.0200</b>	<b>0.0317</b>	<b>0.050</b>

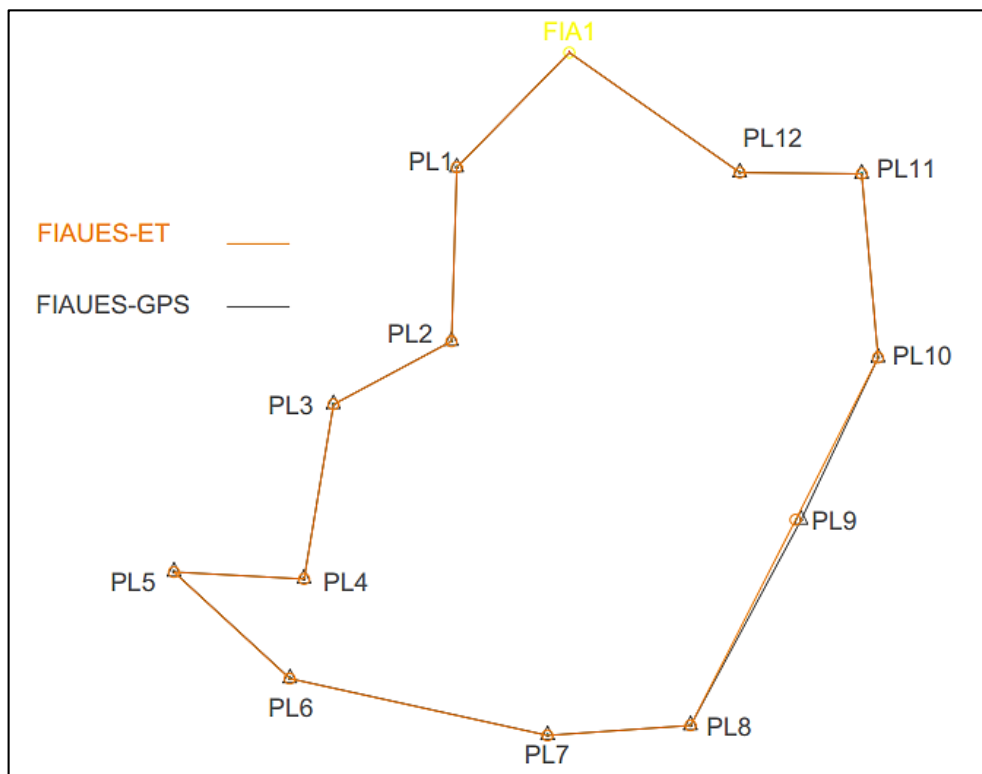


Figura 6.8: Desviaciones de las coordenadas vistas en planta

El promedio de las desviaciones de las coordenadas y la elevación se muestra en la tabla anterior, la coordenada “X” presenta una desviación promedio de 2 cm, la coordenada “Y” de 3.17 cm y la elevación ortométrica de 5 cm.

Los valores de desviación promedio correspondientes a la planimetría indican que las coordenadas obtenidas con un levantamiento con estación total difieren levemente de las obtenidas con GPS diferencial en RTK, considerando que el procedimiento de arrastre de coordenadas con estación total conlleva un conjunto de errores inherentes al proceso de medición.

Respecto a la desviación promedio de las elevaciones, el análisis comparativo no es representativo, debido a que las elevaciones ortométrica obtenidas con el GPS se determinan a partir del Modelo de Geoide EGM 08, y la estación total a partir de métodos trigonométricos.

El análisis comparativo sobre la base de coordenadas obtenidas por ambos métodos de medición es muy importante, porque indican que los resultados de ambos son satisfactorios para trabajos de topografía y geodesia. Sin embargo, existen otros criterios que indican diferencias al momento de utilizar cualquiera de los equipos. En la tabla 6.6 se detallan estos criterios:

*Tabla 6.6: Criterios de análisis entre métodos de medición*

<b>CRITERIO</b>	<b>ESTACION TOTAL</b>	<b>GPS</b>
<b>Costos de adquisición</b>	El costo promedio de una estación total con todos sus accesorios es de \$7,000.00 este varía dependiendo de la marca y modelo.	Para una pareja de GPS de doble frecuencia con sus accesorios el costo promedio es de \$13,000.00 este puede variar dependiendo de la marca y modelo.
<b>Operario</b>	Se necesita personal con conocimientos básicos de topografía.	Se requiere personal especializado en topografía, geodesia y navegación satelital.

<p><b>Tiempo</b></p>	<p>Para el levantamiento de una poligonal cerrada de magnitud similar a la FIA-UES, el trabajo se realiza en un tiempo promedio de 3 horas.</p> <p>El tiempo varía de acuerdo con la destreza del operario en la instalación y medición.</p>	<p>El tiempo promedio de medición, que incluye la instalación del receptor base sobre la estación de referencia y el posicionamiento del receptor móvil sobre cada punto de la red, es aproximadamente 1 hora.</p> <p>En esta medición se utilizó el sistema trípode-bastón para el receptor móvil, sin embargo, al utilizar únicamente bastón el tiempo se reduce aproximadamente un 30%.</p>
<p><b>Amarre geodésico</b></p>	<p>Se requieren dos vértices geodésicos como puntos de partida para realizar el levantamiento por el método de poligonación.</p>	<p>Es necesarios disponer de un vértice geodésico aledaño a la zona donde se realizará la medición, preferentemente en un punto con mayor elevación que los puntos a medir para evitar problemas de comunicación entre el receptor móvil y el receptor base.</p>
<p><b>Manejo de datos</b></p>	<p>Los datos de la medición se guardan en la memoria interna, y se exportan únicamente en formato “.txt”.</p>	<p>Los datos se almacenan en los colectores GPS, estos permiten una visualización en tiempo real de los puntos observados y realizar cálculos directamente en campo (áreas, perímetro,</p>

		curvas de nivel, etc.). Los datos se pueden exportar en diferentes formatos como “.txt”, “.dwg”, etc
--	--	--

## **CAPITULO VII**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **7.1 Conclusiones**

- Conocimientos sobre geodesia, sistemas de referencias y constelaciones satelitales, son esenciales para cualquier profesional que opera un equipo GPS diferencial de doble frecuencia, ya que garantiza la correcta configuración de los equipos, medición e interpretación de las coordenadas obtenidas.
  
- Las técnicas de medición satelital están evolucionando a través del tiempo, incorporándose cada vez más en la realización de trabajos topográficos y geodésicos. Factores como la precisión, tiempo de medición y facilidad en manejo de datos, han contribuido a posicionar estas técnicas como alternativas eficaces para complementar los métodos tradicionales de mediciones topográficas.
  
- El Instituto Geográfico y de Catastro Nacional (IGCN) ha realizado numerosos esfuerzos por establecer una nueva Red Geodésica Nacional, proporcionando un sistema de referencia denominado SIRGAS - ES 2007 enlazado al Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS), aportando mayor precisión a la Cartografía Nacional, por lo que

a partir del año 2017 las coordenadas planas son Lambert SIRGAS - ES 2007.

- Entre las técnicas de medición satelital, la estática exige mayores condiciones de observación y mayores tiempos de medición, sin embargo proporciona mayores precisiones en el orden milimétrico, siendo su principal fin establecer redes geodésicas de primer orden. La estática-rápida debe cumplir las mismas condiciones de observación, los tiempos de medición son cortos, se obtienen buenas precisiones milimétricas para líneas bases menores a 20 kilómetros y finalmente la técnica RTK es la más práctica y aplicada a levantamientos topográficos.
  
- Las coordenadas obtenidas en el levantamiento de la poligonal FIAUES realizado con estación total respecto a las obtenidas con GPS en técnica RTK presentan desviaciones que en promedio varían en un rango de 1 a 3 cm, considerando que el uso de estación total conlleva más fuentes de errores, los resultados obtenidos son satisfactorios por presentar poca variación con los obtenidos con RTK, que es una técnica de mayor precisión.

## 7.2 Recomendaciones

- Para la técnica RTK se recomienda utilizar una estación de referencia con coordenadas conocidas, previamente establecidas por técnica estática o proporcionada por el IGCN en un sitio de mayor elevación que los puntos a medir.
- A las universidades del país, incorporar dentro del plan de estudio de la carrera de Ingeniería Civil, la asignatura de Geodesia, aplicada a levantamientos topográficos con GPS. Profesionales especialistas en Geodesia deben intervenir en la elaboración y el desarrollo del contenido temático de esta asignatura.
- Para monitorear y actualizar periódicamente las coordenadas de las estaciones de referencia ubicadas dentro de la Universidad de El Salvador, se debe establecer una Estación de Referencia de Operación Continua (CORS).
- Fomentar el desarrollo de grupos investigativos de diferentes áreas académicas de la universidad de El Salvador, capacitados en geodesia y uso de equipos GPS, para aprovechar la diversidad de aplicaciones y utilidades que estos equipos poseen.



- Para obtener elevaciones ortométrica precisas es recomendable realizar el arrastre de elevaciones utilizando un nivel fijo, partiendo de un banco de marca, o disponer de un Modelo de Geoide Local altamente densificado.

## BIBLIOGRAFÍA

### Libros consultados

- Andrés, P. y Rodríguez, R. (2008). Evaluación y Prevención de Riesgos Ambientales en Centroamérica, Girona, España: Documenta Universitaria.
- Eduardo Huerta, Mangiaterra y Noguera (2005). GPS Posicionamiento Satelital, Rosario, Argentina: UNR Editora.

### Tesis

- Ayala, A. y Bardales, M. (2012). Aplicaciones y uso de la tecnología de GPS diferencial de doble frecuencia con precisión centimétrica en el área de levantamiento y replanteo topográfico georreferenciado, Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.
- Alvarez, J. y Rivas, M. (2011). Determinación Geométrica de la Ondulación del Geoide a lo largo de un tramo de la Rednap, Ocaña Cuenca y su comparación con el Geoide Geométrico, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
- Guandique, López y Martínez (2014). Manual técnico para el levantamiento geodésico con GPS de una frecuencia aplicando el Sistema Global de Navegación (GNSS) utilizando un modelo geoidal y su análisis comparativo con levantamiento topográfico con estación total, Universidad de El Salvador, San Miguel, El Salvador

### **Documentos Técnicos**

- Gárate, J. y Dávila, M. (2003). La Geodesia Espacial, una herramienta de Futuro, Cádiz, España.
- Furones, A. (2011). Sistema y Marco de Referencia Terrestre, Valencia, España.
- Figueroa, Amaya y Sánchez (2010). Integración de la Red Geodésica Básica Nacional de El Salvador a SIRGAS (SIRGAS-ES2007), San Salvador, El Salvador.
- Fallas, J. (2008). Proyecciones Cartográficas y Dátum, Heredia, Costa Rica.
- Casanova, L. (nd), Topografía Plana, Bogotá, Colombia.

### **Páginas Web**

- International Terrestrial Reference Frame (2016). ITRF Website, París, Francia, <http://itrf.ensg.ign.fr>
- Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (nd). Geocentric Reference System [Sistema de Referencia Geocéntrico], <http://www.sirgas.org/>

# ANEXOS

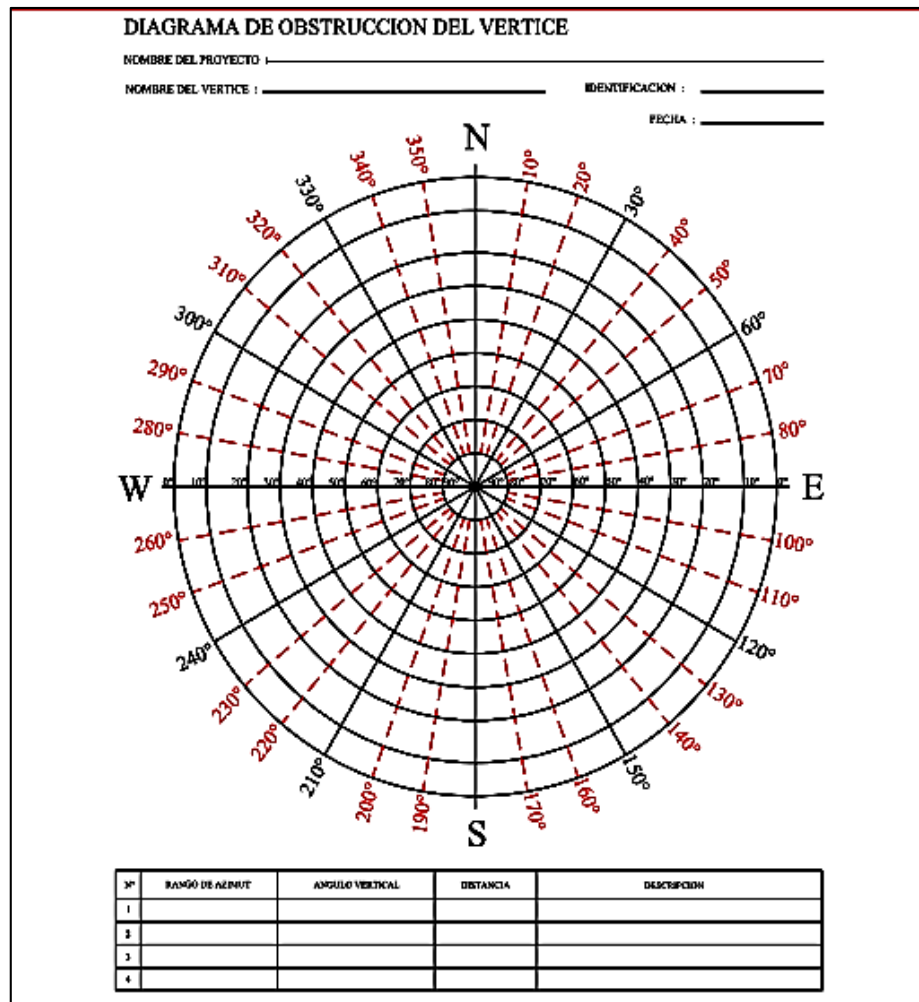
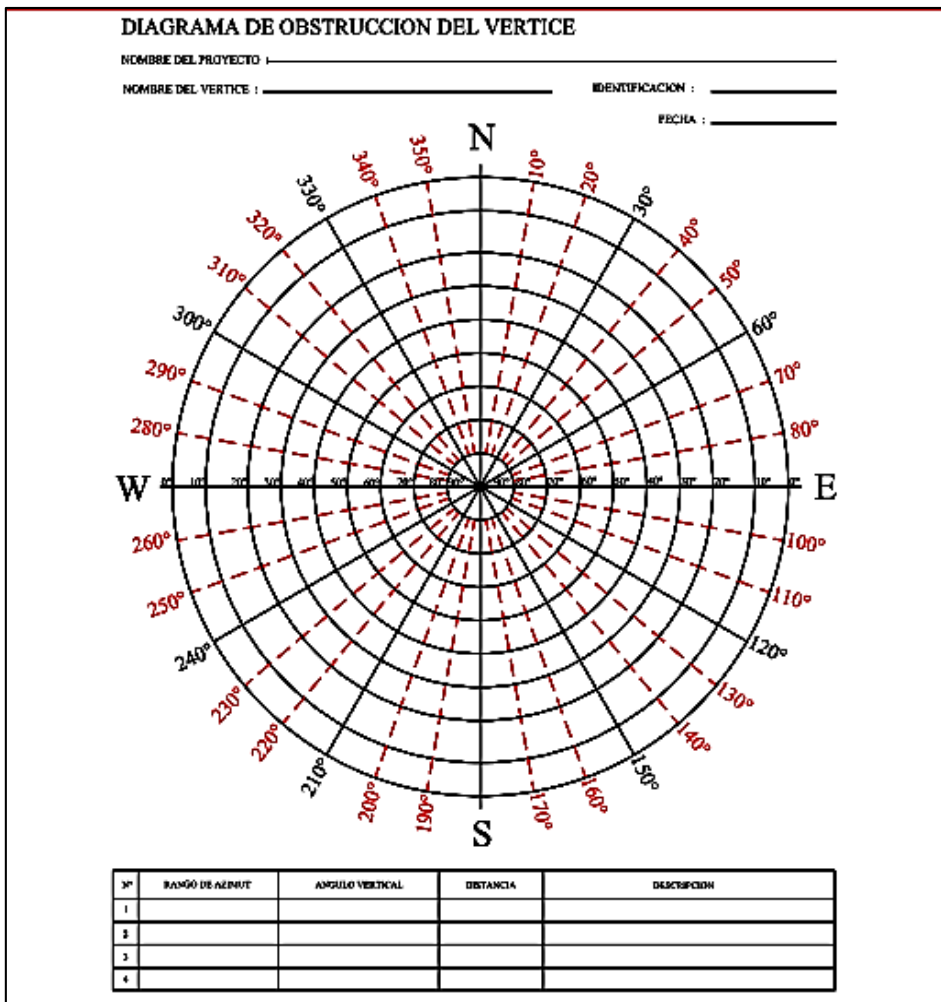
Anexo A  
Formato para diagrama  
de obstrucción.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQ.  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



LEVANTAMIENTO DE CONTROL GEODESICO.



OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

## Anexo B

Tablas de coordenadas y elevaciones  
obtenidas en técnica Estática,  
Estática-Rápida y poligonal con RTK.

*Tabla B1: Coordenadas obtenidas en método estático*

<b>Nombre</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>Elevación Elipsoidal (m)</b>	<b>Este (m)</b>	<b>Norte (m)</b>	<b>Elevación Ortométrica (m)</b>
<b>UESP</b>	13° 43' 17.37108" N	089° 12' 11.23906" W	704.722	478028.626	288869.869	703.203
<b>Biblioteca</b>	13° 43' 13.61466" N	089° 12' 07.16172" W	719.073	478151.029	288754.326	717.557
<b>FIA 1</b>	13° 43' 18.38465" N	089° 12' 03.44664" W	700.726	478262.769	288900.821	699.209
<b>FIA 2</b>	13° 43' 17.51270" N	089° 11' 59.00365" W	700.735	478396.233	288873.913	699.219
<b>MEDICINA</b>	13° 43' 02.47824" N	089° 12' 08.49646" W	741.676	478110.640	288412.121	740.164

*Tabla B2: Coordenadas obtenidas en método Estático - Rápido.*

<b>Nombre</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>Elevación Elipsoidal (m)</b>	<b>Este (m)</b>	<b>Norte (m)</b>	<b>Elevación Ortométrica (m)</b>
<b>ME01</b>	13° 43' 01.71518" N	089° 12' 07.56997" W	715.520	478138.456	288388.648	714.009
<b>ME02</b>	13° 43' 01.51121" N	089° 12' 06.85254" W	714.432	478160.006	288382.362	712.922
<b>AR01</b>	13° 43' 02.54322" N	089° 12' 13.79395" W	718.011	477951.519	288414.182	716.502
<b>AR02</b>	13° 43' 02.96348" N	089° 12' 14.92400" W	718.456	477917.578	288427.126	716.947
<b>CN01</b>	13° 43' 08.92474" N	089° 12' 18.63813" W	717.134	477806.144	288610.419	715.621
<b>CN02</b>	13° 43' 09.51927" N	089° 12' 18.57149" W	717.141	477808.062	288628.688	715.627



**Tabla B3: Coordenadas de la poligonal FIAUES obtenidas en técnica RTK**

<b>N°</b>	<b>Nombre</b>	<b>Este(m) X</b>	<b>Norte (m) Y</b>	<b>Elev.Orto.(m)</b>
1	PL1	478221.0166	288858.1687	700.978
2	PL2	478219.0844	288793.7119	705.136
3	PL3	478175.2582	288770.3145	704.787
4	PL4	478164.3596	288705.5095	705.662
5	PL5	478116.1277	288708.1004	705.687
6	PL6	478159.1179	288668.5439	705.539
7	PL7	478254.7274	288647.4594	703.710
8	PL8	478307.7505	288651.1487	702.750
9	PL9	478348.7309	288727.4065	702.687
10	PL10	478377.3452	288787.6201	702.822
11	PL11	478371.2418	288855.8135	701.371
12	PL12	478326.0374	288856.3025	701.152

## Anexo C

Esquemas de referencias de cada  
vértice de la poligonal cerrada  
FIAUES



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
LEVANTAMIENTO CONTROL GEODÉSICO**

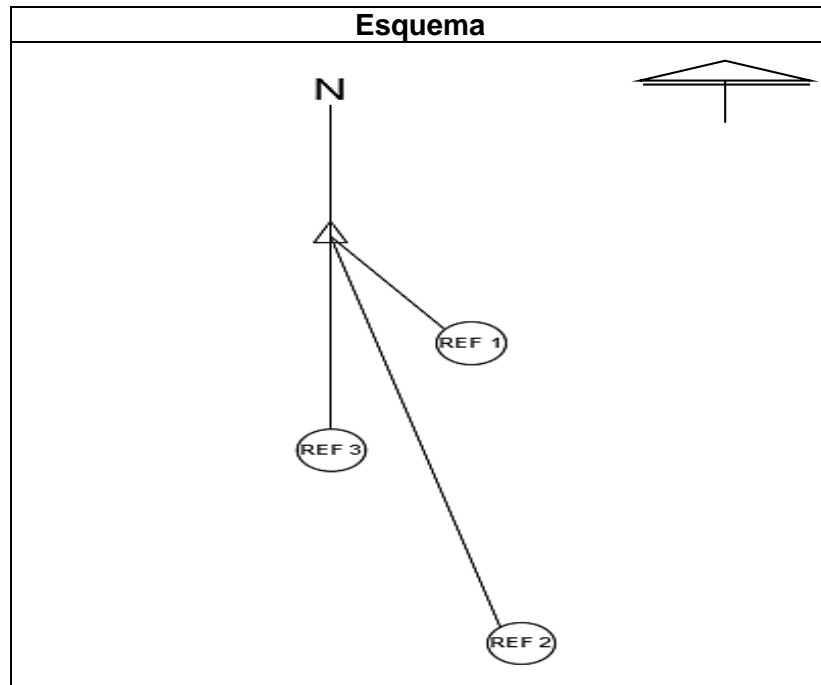


**DESCRIPCIÓN GRAFICA DE PARES URBANOS**

**Nombre de Estación: PL1**

**Cuadro de referencias**

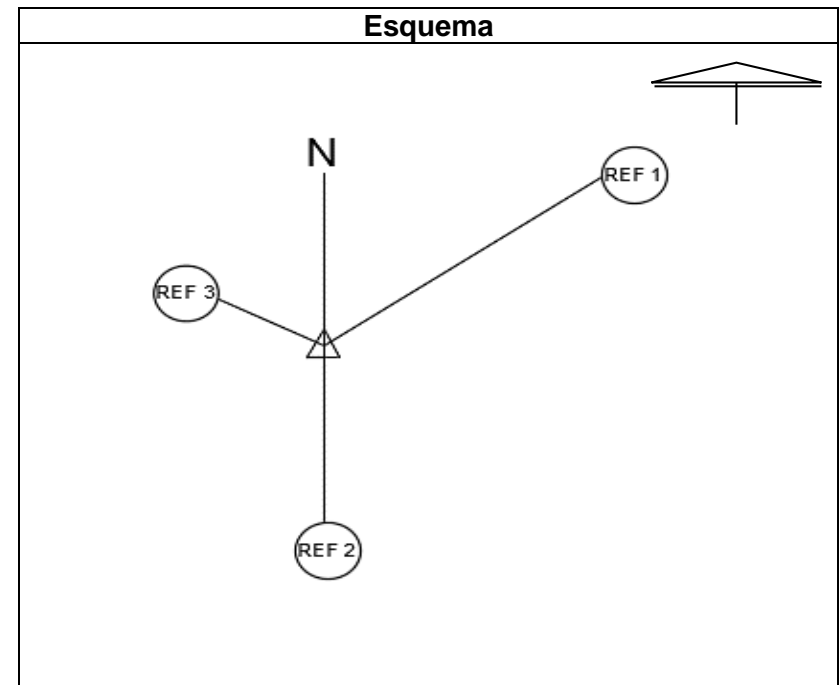
N° REF.	DIST. (METROS)	AZIMUT (°)	TIPO DE REFERENCIA
REF.1	3.57	143°	Poste Luz
REF.2	12.30	165°	Esq. Edificio Mecánica
REF.3	5.85	180°	Pozo Alcantarillado



**Nombre de Estación: PL2**

**Cuadro de referencias**

N° REF.	DIST. (METROS)	AZIMUT (°)	TIPO DE REFERENCIA
REF.1	6.78	55°	Esq. Edificio Civil
REF.2	4.10	180°	Árbol de Jote
REF.3	2.36	297°	Pozo Alcantarillado





**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
LEVANTAMIENTO CONTROL GEODÉSICO**

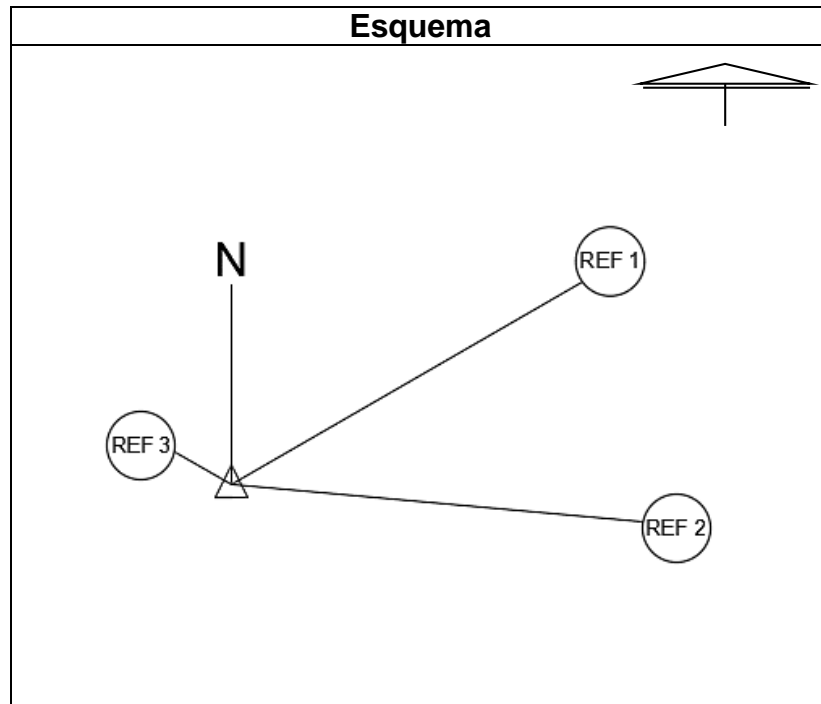


**DESCRIPCIÓN GRAFICA DE PARES URBANOS**

**Nombre de Estación: PL3**

**Cuadro de referencias**

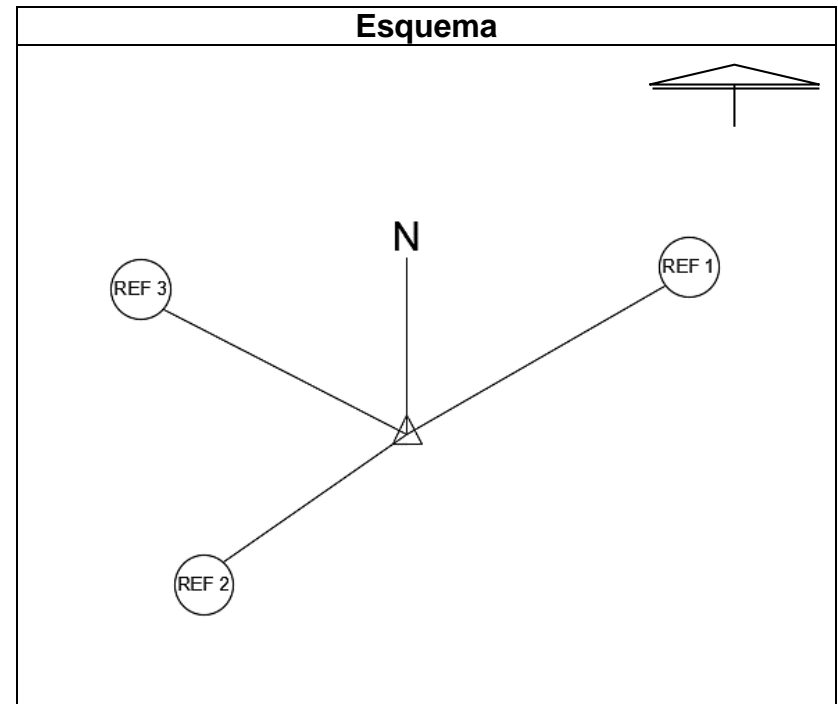
N° REF.	DIST. (METROS)	AZIMUT (°)	TIPO DE REFERENCIA
REF.1	7.82	60°	Pozo Alcantarillado
REF.2	7.95	95°	Poste Luz
REF.3	1.27	300°	Esquina de Muro



**Nombre de Estación: PL4**

**Cuadro de referencias**

N° REF.	DIST. (METROS)	AZIMUT (°)	TIPO DE REFERENCIA
REF.1	6.50	60°	Lámpara
REF.2	4.90	235°	Poste Tendido Eléctrico
REF.3	5.98	297°	Lámpara





UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
LEVANTAMIENTO CONTROL GEODÉSICO

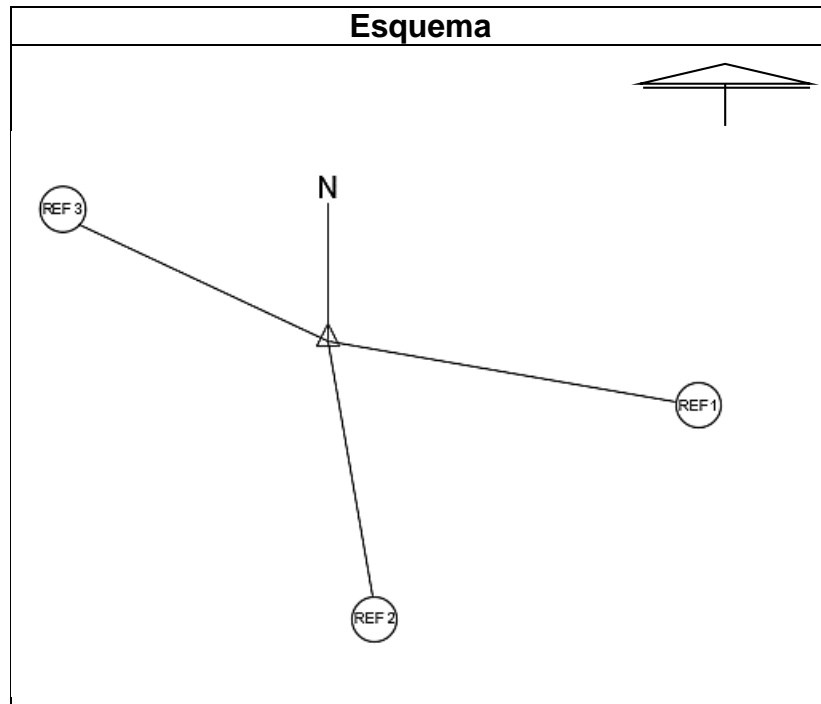


DESCRIPCIÓN GRAFICA DE PARES URBANOS

Nombre de Estación: PL5

Cuadro de referencias

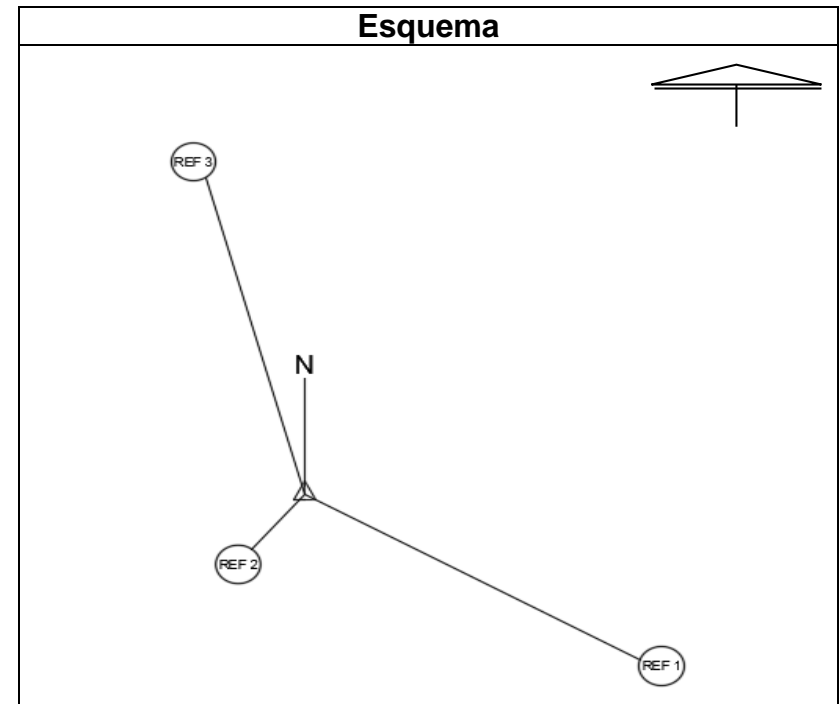
N° REF.	DIST. (METROS)	AZIMUT (°)	TIPO DE REFERENCIA
REF.1	12.17	100°	Poste Luz
REF.2	9.10	170°	Poste Tendido Eléctrico
REF.3	10.38	295°	Poste Tendido Eléctrico



Nombre de Estación: PL6

Cuadro de referencias

N° REF.	DIST. (METROS)	AZIMUT (°)	TIPO DE REFERENCIA
REF.1	16.30	120°	Poste Luz
REF.2	2.47	220°	Poste Tendido Eléctrico
REF.3	16.10	345°	Lámpara





UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
LEVANTAMIENTO CONTROL GEODÉSICO

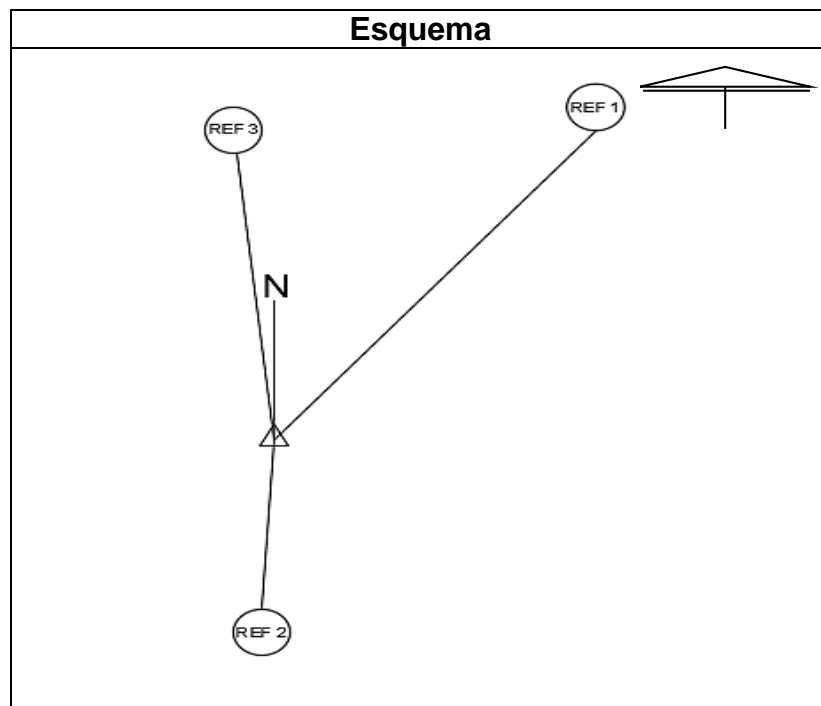


DESCRIPCIÓN GRAFICA DE PARES URBANOS

Nombre de Estación: PL7

Cuadro de referencias

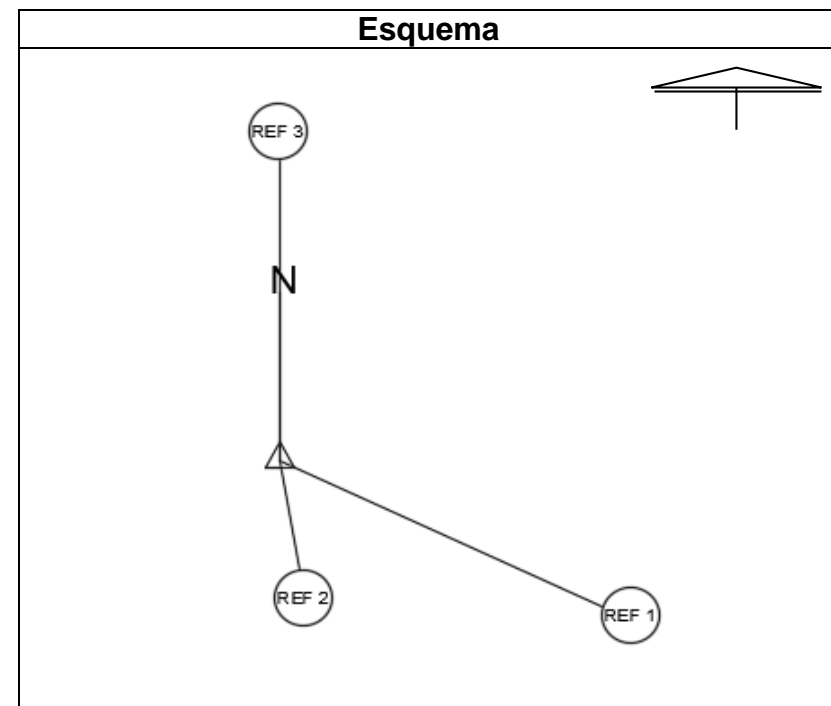
N° REF.	DIST. (METROS)	AZIMUT (°)	TIPO DE REFERENCIA
REF.1	15.80	40°	Poste Luz
REF.2	4.80	183°	Árbol
REF.3	8.20	354°	Poste Tendido Eléctrico



Nombre de Estación: PL8

Cuadro de referencias

N° REF.	DIST. (METROS)	AZIMUT (°)	TIPO DE REFERENCIA
REF.1	8.03	115°	Esq. Lab. Veterinaria
REF.2	2.60	170°	Poste Tendido Eléctrico
REF.3	7.08	0°	Esq. Lab. Ing. Alimentos





UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
LEVANTAMIENTO CONTROL GEODÉSICO



DESCRIPCIÓN GRAFICA DE PARES URBANOS

Nombre de Estación: PL9

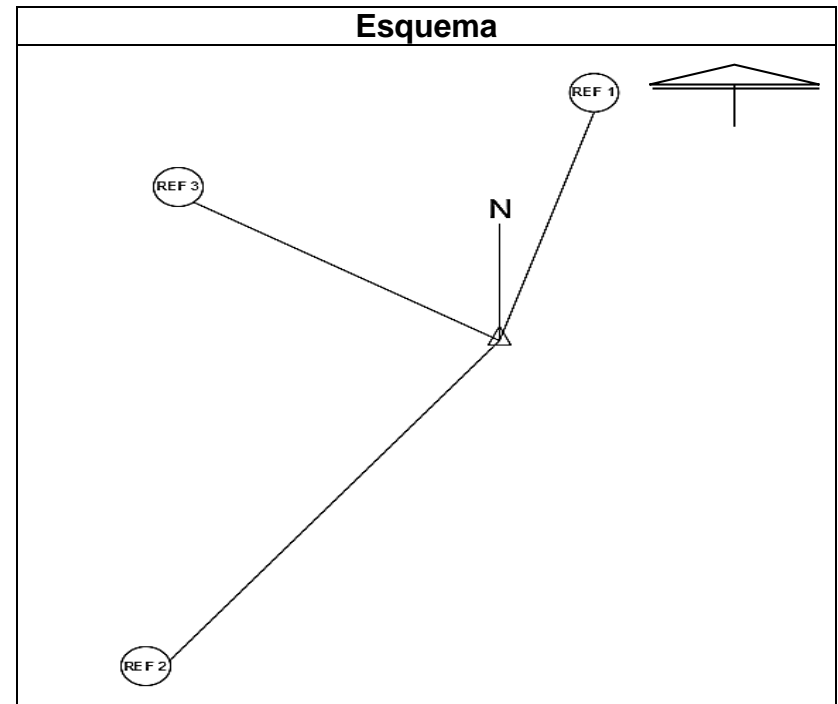
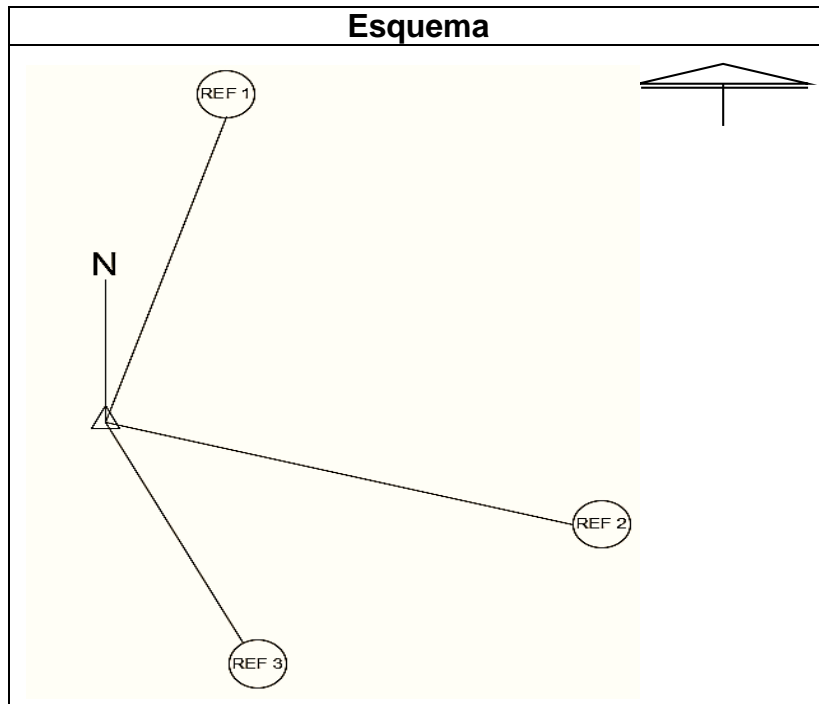
Cuadro de referencias

N° REF.	DIST. (METROS)	AZIMUT (°)	TIPO DE REFERENCIA
REF.1	10.55	18°	Pozo Alcantarillado
REF.2	13.45	105°	Poste Luz
REF.3	9.50	158°	Caseta de Vigilancia

Nombre de Estación: PL10

Cuadro de referencias

N° REF.	DIST. (METROS)	AZIMUT (°)	TIPO DE REFERENCIA
REF.1	8.20	18°	Poste Luz
REF.2	17.06	219°	Esq. Edif. Eléctrica
REF.3	12.02	300°	Esq. Edif. Eléctrica





UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
LEVANTAMIENTO CONTROL GEODÉSICO

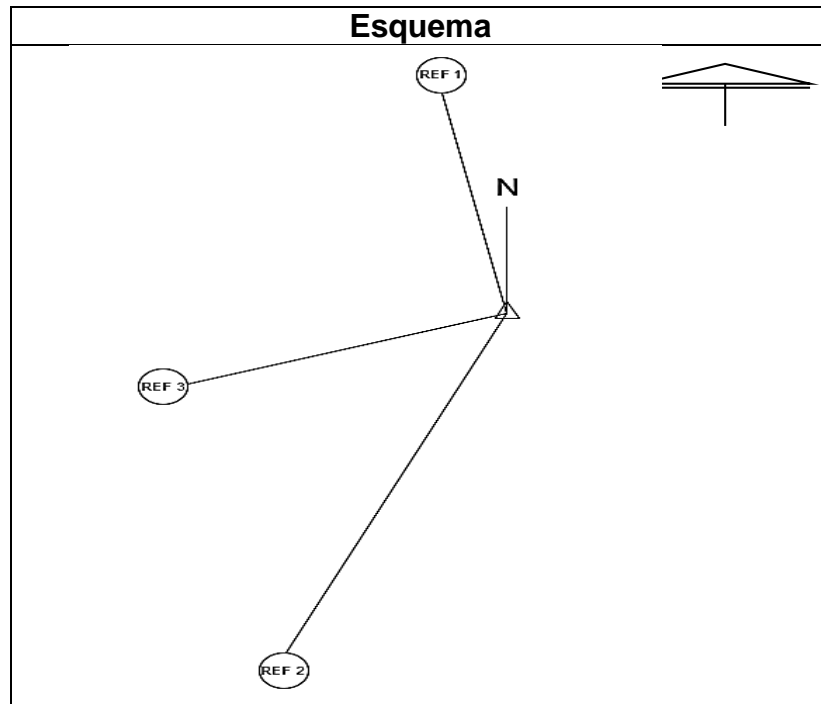


DESCRIPCIÓN GRAFICA DE PARES URBANOS

Nombre de Estación: PL11

Cuadro de referencias

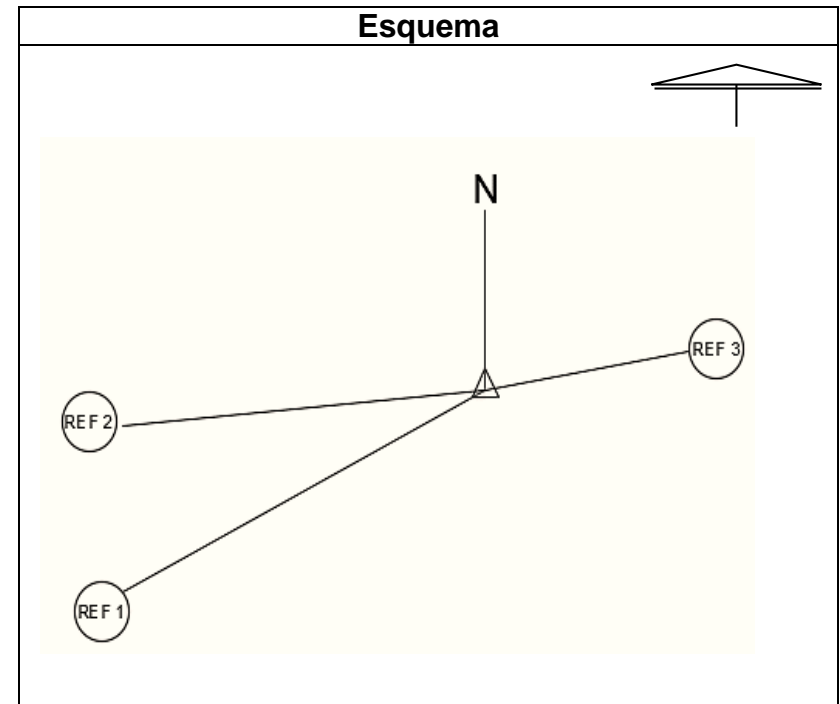
N° REF.	DIST. (METROS)	AZIMUT (°)	TIPO DE REFERENCIA
REF.1	8.38	348°	Poste Luz
REF.2	21.05	205°	Esq. Edif. Industrial
REF.3	9.50	253°	Esq. Edif. Industrial



Nombre de Estación: PL12

Cuadro de referencias

N° REF.	DIST. (METROS)	AZIMUT (°)	TIPO DE REFERENCIA
REF.1	9.84	243°	Lámpara
REF.2	8.80	265°	Árbol de Pito
REF.3	5.00	80°	Árbol Guayaba

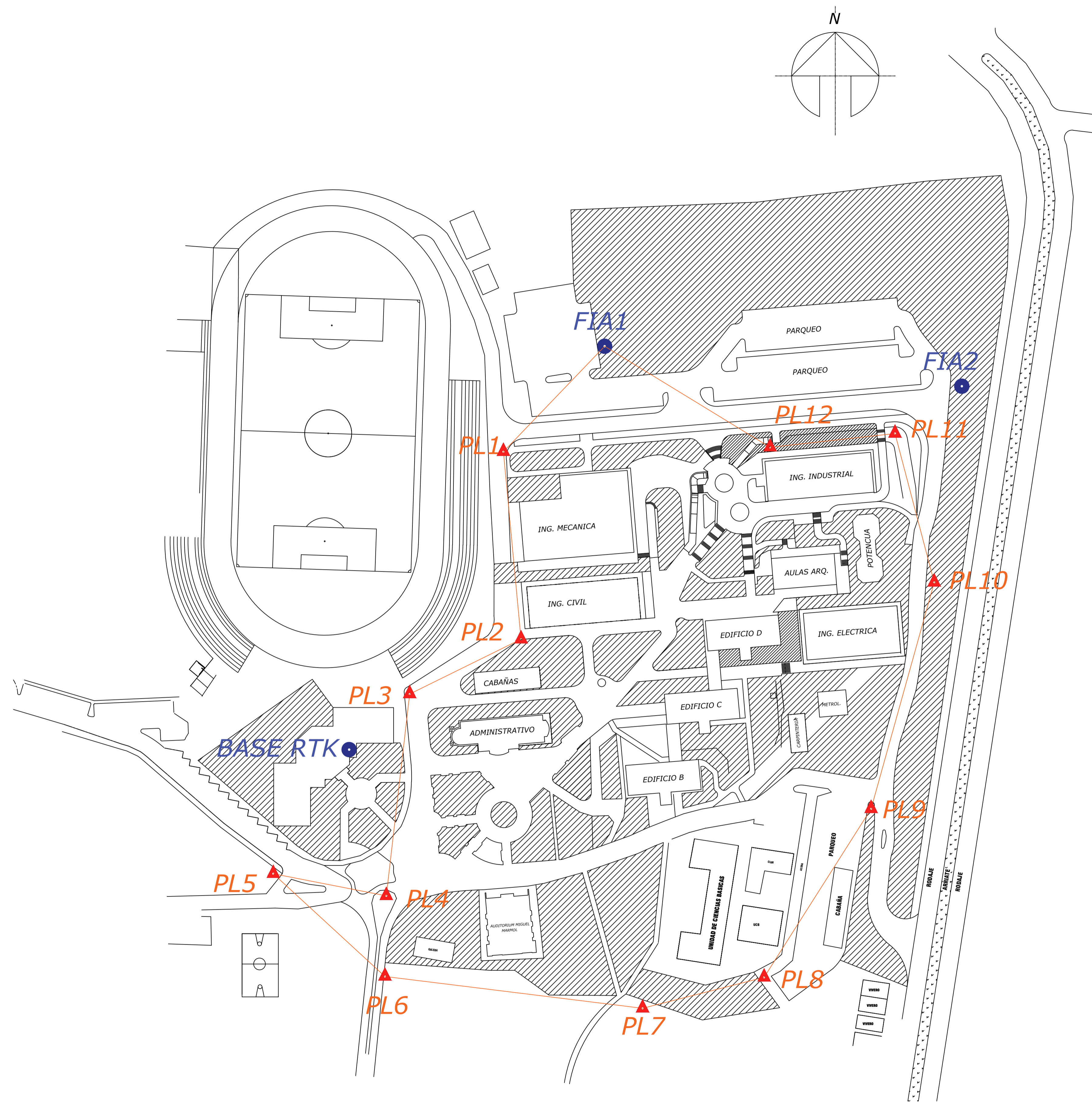




## Anexo D

Plano de la poligonal cerrada FIAUES.

Plano de puntos geodésicos de la  
Universidad de El Salvador.



<p><b>CONTENIDO:</b> POLIGONAL CON AMARRE GEODESICO FIAUES</p>	<p><b>UBICACION:</b> CIUDAD UNIVERSITARIA, SAN SALVADOR</p>	<p><b>PRESENTA:</b> GRUPO DE TRABAJO DE GRADUACION</p> <p><b>PROPIETARIO:</b> UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</p>	<p><b>ESCALA:</b> SIN ESCALA</p> <p><b>FECHA:</b> OCT/2017</p>
--	---	--	--



<p><b>CONTENIDO:</b></p> <p>PUNTOS GEODESICOS EN LA UES</p>	<p><b>UBICACION:</b></p> <p>CIUDAD UNIVERSITARIA, SAN SALVADOR</p>	<p><b>PRESENTA:</b></p> <p>GRUPO DE TRABAJO DE GRADUACION</p> <p><b>PROPIETARIO:</b></p> <p>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</p>	<p><b>ESCALA:</b></p> <p>SIN ESCALA</p> <p><b>FECHA:</b></p> <p>OCT/2017</p>
---	--	--	--

# Anexo E

## Glosario Técnico.

**Almanaque:**

Es la versión simplificada de las efemérides, permite calcular las coordenadas de los satélites en forma aproximada; su validez es de seis meses, aunque es recomendable su actualización semanal.

**AS:** Anti-Spoofing O Anti Espionage.

**Código C/A (Course/Acquisition):** También denominado S (Standard), es el de menor frecuencia (utiliza la frecuencia fundamental dividida por 10, es decir, 1.023 MHz).

**Código P (Precise):** Se transmite directamente a la frecuencia fundamental (10.23 MHz), ofrece mayor precisión.

**Coordenadas geográficas:** Son un sistema de coordenadas que permite que cada ubicación en la Tierra sea especificada por un conjunto de números, letras o símbolos. Las coordenadas de posición horizontal utilizadas son la latitud y longitud, un sistema de coordenadas angulares esféricas o cuyo centro es el centro de la Tierra y se expresan en grados sexagesimales. Las coordenadas que representan la altitud se determinan tomando como referencia el nivel medio del mar o un modelo geoidal del Globo Terráqueo.

**Cosmogonía:** Es una narración mítica que pretende dar respuesta al origen del Universo y de la propia humanidad.

**CS:** Commercial Service o Servicio comercial.

**Datum:** Puntos de referencia en la superficie terrestre que sirven como base para definir un origen y situación de un sistema de coordenadas, asociado a un modelo de la forma de la Tierra.

**DOP:** Dilución o Degradación de la Precisión, es una medida de la fortaleza de la geometría de los satélites y está relacionada con la distancia entre los satélites y su posición en el cielo.

**DS-CDMA:** Acceso Múltiple por División de Código en Secuencia Directa es uno de los métodos de codificación de canal en espectro ensanchado para transmisión de señales digitales sobre ondas radiofónicas que más se utilizan.

**Efeméride:** Conjunto de parámetros numéricos que describen las posiciones precisas de los satélites en función del tiempo.

**Elipsoide:** Figura matemática que más se asemeja a la verdadera forma de la Tierra y responde a fórmulas analíticas de manera que resulta útil para hacer cálculos geodésicos apoyándose en ella.

**EMG-08 (Earth Geopotencial Model 2008):** Modelo Geoidal Mundial, es el modelo a escala mundial más completo y preciso obtenido hasta el momento, utilizado para determinar elevaciones ortométricas a partir de mediciones con equipos GPS.

**Frecuencia:** Es una magnitud que mide el número de repeticiones por unidad de tiempo de cualquier fenómeno o suceso periódico. Según el Sistema

Internacional (SI), la frecuencia se mide en hercios (Hz), en honor a Heinrich Rudolf Hertz.

**GALILEO:** Es el programa europeo de radionavegación y posicionamiento por satélite, desarrollado por la Unión Europea (UE) conjuntamente con la Agencia Espacial Europea.

**GDOP:** Degradación de la exactitud en posición 3D y en tiempo.

**Geodesia:** Geodesia proviene del griego: gêodaisia (geo, tierra; daien, dividir) que significa “dividir la tierra”. La geodesia es, al mismo tiempo, una de las Ciencias de la Tierra y una Ingeniería. Trata del levantamiento y de la representación de la forma y de la superficie de la Tierra, global y parcial, con sus formas naturales y artificiales.

**Geoide:** Superficie (de nivel) equipotencial que es perpendicular en todos sus puntos a la dirección de la gravedad resultante de la atracción terrestre y la fuerza centrífuga originada por la rotación terrestre, coincide con el nivel medio del mar (NMM) en un océano abierto sin perturbaciones o su extensión hipotética por debajo de las masas continentales.

**GLONASS:** Es un Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) desarrollado por la Unión Soviética, siendo hoy administrado por la Federación Rusa y que constituye el homólogo del GPS estadounidense y del Galileo europeo.

**GNSS (Global Navigation Satellite System):** Sistema Global de Navegación por Satélite, es una constelación de satélites que transmite rangos de señales utilizados para el posicionamiento y localización en cualquier parte del globo terrestre, ya sea en tierra, mar o aire.

**GPS (Global Positioning System):** El Sistema de Posicionamiento Global, es un sistema que permite determinar en toda la Tierra la posición de un objeto (una persona, un vehículo) mediante la recepción y decodificación de señales enviadas por una constelación de satélites artificiales. El sistema fue desarrollado, instalado y empleado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos. Para determinar las posiciones en el globo, el sistema GPS se sirve de 24 satélites.

**HDOP:** Degradación de la exactitud en la dirección horizontal.

**ICRS (*International Celestial Reference System*):** Sistemas de Referencia Celeste Internacional, es el sistema de referencia celestial estándar actual adoptado por la Unión Astronómica Internacional (IAU). Su origen está en el baricentro del Sistema Solar.

**IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*):** Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Es una asociación mundial de ingenieros dedicada a la estandarización y el desarrollo en áreas técnicas.

**IERS (*International Earth Rotation and Reference Systems Service*):** Sistema de referencia del Servicio Internacional de Rotación Terrestre y Sistemas de



Referencia, proporciona datos sobre la orientación de la Tierra, en el Sistema / Marco de Referencia Celestial Internacional, en el Sistema / Marco de Referencia Terrestre Internacional y en fluidos geofísicos. También mantiene convenios que contienen modelos, constantes y estándares.

**Interfaz:** La conexión funcional entre dos sistemas, programas, dispositivos o componentes de cualquier tipo, que proporciona una comunicación de distintos niveles permitiendo el intercambio de información.

**Ionosfera:** Capa de la atmósfera terrestre que se extiende entre los 80 y los 500 km de altitud aproximadamente; en ella tienen lugar abundantes procesos de ionización en los cuales se originan grandes concentraciones de electrones libres.

**ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*):** Marco Internacional de Referencia Terrestre, es la materialización del sistema ITRS, mediante un conjunto de puntos ubicados en la superficie terrestre (aproximadamente 400 puntos) con sus valores de coordenadas muy precisas dadas para una época fija y sus variaciones en el tiempo.

**ITRS (*International Terrestrial Reference System*):** Sistema Internacional de Referencia Terrestre, es un sistema que describe procedimientos para crear marcos de referencia adecuados para su uso con mediciones en o cerca de la superficie de la Tierra.

**Latitud:** La latitud es la distancia angular entre la línea ecuatorial y un punto determinado de la Tierra, medida a lo largo del meridiano en el que se encuentra dicho punto.

**Línea del Ecuador:** es el plano perpendicular al eje de rotación de un planeta y que pasa por su centro. Divide la superficie del planeta en dos partes: el hemisferio norte y el hemisferio sur.

**Longitud:** Expresa la distancia angular entre un punto dado de la superficie terrestre y el meridiano de Greenwich medida a lo largo del paralelo en el que se encuentra dicho punto.

**Máscara:** Es la menor elevación en grados a la que un receptor GPS puede seguir a un satélite.

**Meridiano de Greenwich:** Conocido como meridiano cero, meridiano base o primer meridiano, es el meridiano a partir del cual se miden las longitudes. Se corresponde con la circunferencia imaginaria que une los polos y recibe su nombre por cruzar por la localidad inglesa de Greenwich, en concreto por su antiguo observatorio astronómico.

**Modelo de Molodensky:** Es un método de transformación de coordenadas pertenecientes a diferentes Datum.

**NAD 27 (North American Datum 1927):** Datum norteamericano 1927, dicho datum tiene su origen cerca del centro geométrico de los Estados Unidos, en

Meades Ranch (Kansas), el elipsoide asociado es el Clark 1866 y este datum tiene cobertura en Norte América, Centro América y Panamá.

**NAVSTAR:** Navigation and Satellite Timing and Ranging o Navegación, sincronización y distribución de satélites.

**Obelisco:** Es un monumento pétreo con forma de pilar, de sección cuadrada, con cuatro caras trapezoidales iguales, ligeramente convergentes, rematado superiormente en una pequeña pirámide denominada piramidión.

**OS:** Open Service o servicio abierto.

**PDOP:** Degradación de la exactitud en posición 3D.

**PRS (Public Regulated Service):** Servicio Público Regulado.

**PPS (Precise Positioning Service):** Servicio de posicionamiento preciso.

**Proyección Cartográfica:** La transformación de un espacio tridimensional en uno bidimensional es lo que se conoce como “proyección”. Las fórmulas de proyección son expresiones matemáticas que se utilizan para convertir los datos de posiciones geográficas (latitud y longitud) sobre una esfera o esferoide en posiciones sobre un plano (X, Y).

**Proyección Cónica Conforme de Lambert:** Proyección que consiste en la superposición de un cono sobre la esfera de la Tierra, con dos paralelos de referencia secantes al globo e intersecándolo. Presentada por el matemático, físico, filósofo y astrónomo mulhousiano Johann Heinrich Lambert en 1772.

**RINEX (Receiver INdependent EXchange):** Receptor Independiente de Intercambio. Es el formato estandarizado que permite la gestión y almacenamiento de las medidas generadas por un receptor, así como su uso posterior por una gran cantidad de aplicaciones informáticas, independientemente de cuál sea el fabricante tanto del receptor como de la aplicación.

**RTK (Real Time Kinematic):** Cinemático en Tiempo Real.

**SA (Selective Availability):** Disponibilidad Selectiva.

**SAR (Search and Public Rescue Service):** Servicio de Búsqueda y Rescate Público.

**Satélite:** Son naves espaciales fabricadas en la tierra, enviadas en un vehículo de lanzamiento (un tipo de cohete que envía una carga útil al espacio exterior), y puesto en órbita alrededor de un cuerpo celeste, estos tienen una gran variedad de fines, científicos, tecnológicos y militares.

**Segmento de Control:** Formado por el conjunto de estaciones en tierra que recogen los datos de los satélites.

**Segmento Espacial:** Es el segmento compuesto por los satélites que forman el sistema, tanto de navegación como de comunicación.

**Segmento Usuario:** Formado por los equipos GNSS que reciben las señales que proceden del segmento espacial.

**Señal:** Conjunto de ondas que van desde las ondas de mayor longitud a las de menor longitud.

**SIG:** Sistema de Información Geográfica en español o GIS en inglés; es un conjunto de herramientas que integra y relaciona diversos componentes (usuarios, hardware, software, procesos) que permiten la organización, almacenamiento, manipulación, análisis y modelización de grandes cantidades de datos procedentes del mundo real que están vinculados a una referencia espacial.

**SIRGAS:** Es el Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas, y como sistema de referencia se define idéntico al Sistema Internacional de Referencia Terrestre ITRS y su realización es la densificación regional del marco global de referencia terrestre ITRF en América Latina y El Caribe.

**SLR (Satellite Laser Ranging):** Telemetría Láser sobre Satélites Artificiales; es un método muy preciso de medición de distancias realizado mediante la emisión de pulsos de Luz Láser a Satélites de acuerdo con el principio de pulso-eco. El proceso consiste en enviar un muy corto y poderoso pulso (destello) de luz láser mediante un Telescopio Láser a los retroreflectores de los satélites que se encuentran en órbitas de 300km a 40.000km de distancia de la superficie de la Tierra.

**Software The Geographic Calculator:** Es una herramienta que proporciona una plataforma única para la transformación de coordenadas de alta precisión de

prácticamente cualquier tipo de datos geoespaciales. Esta herramienta es usualmente utilizada para la transformación de coordenadas geográficas a coordenadas planas y viceversa.

**SoL (Safety of Life):** Seguridad para la Vida.

**SPS (Standard Positioning Service):** Servicio de Posicionamiento Standard.

**Sputnik I:** primer satélite artificial de la Tierra.

**Troposfera:** Capa de la atmósfera terrestre que está en contacto con la superficie de la Tierra y se extiende hasta una altitud de unos 10 km aproximadamente; en ella se desarrollan todos los procesos meteorológicos y climáticos.

**URSS:** Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas.

**UTM (Universal Transverse Mercator System):** El sistema de coordenadas universal transversal de Mercator, es un sistema de coordenadas basado en la proyección cartográfica transversa de Mercator, que se construye como la proyección de Mercator normal, pero en vez de hacerla tangente al Ecuador, se la hace secante a un meridiano.

**VDOP:** Degradación de la exactitud en la dirección vertical.

**Ventana:** Es el tamaño de la abertura del cielo despejado para la recolección de la información utilizando un equipo GPS.

**VLBI (Very Long Base Interferometry):** En español se entiende como Interferometría de muy larga base; consiste en la observación de uno o varios objetos celestes con la ayuda de un gran número de radiotelescopios ubicados en distintas partes de la Tierra.

**WGS-84 (World Geodetic System 84):** Sistema Geodésico Mundial 1984, es un sistema de coordenadas geográficas mundial que permite localizar cualquier punto de la Tierra.