

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



**ESTUDIO DE LA ONDULACIÓN GEOIDAL DEL ÁREA
METROPOLITANA DE SAN SALVADOR Y CÁLCULO
DE ELEVACIONES ORTOMÉTRICAS UTILIZANDO
MODELOS GRAVITACIONALES DE LA TIERRA**

PRESENTADO POR:

**JOSUÉ SAMUEL ACEVEDO CÁRCAMO
MARIO ALBERTO CASTANEDA CASTRO**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, OCTUBRE DEL 2020

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

M.Sc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL :

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

PhD. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA

SECRETARIO :

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

DIRECTOR :

ING. ANÍBAL RODOLFO ORTIZ

Trabajo de graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO CIVIL

Título :

**ESTUDIO DE LA ONDULACIÓN GEOIDAL DEL ÁREA
METROPOLITANA DE SAN SALVADOR Y CÁLCULO
DE ELEVACIONES ORTOMÉTRICAS UTILIZANDO
MODELOS GRAVITACIONALES DE LA TIERRA**

Presentado por :

**JOSUÉ SAMUEL ACEVEDO CÁRCAMO
MARIO ALBERTO CASTANEDA CASTRO**

Trabajo de Graduación Aprobado por :

Docente Asesor :

ING. WILFREDO AMAYA ZELAYA

San Salvador, octubre del 2020

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

ING. WILFREDO AMAYA ZELAYA

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, A Dios, por darme vida, sabiduría e inteligencia para culminar mi estudio, por estar siempre a mi lado en el proceso de mi carrera cuidándome y guiándome en cada momento de mi vida.

A mis Padres, Esperanza de Acevedo y Waldo Acevedo, (ellos son parte fundamental de mi vida, los cuales amo), que con amor, paciencia y dedicación me enseñaron a seguir adelante en todo momento, y también en el curso de mi carrera, además de darme apoyo incondicional y ánimos a culminar más metas en mi vida, ¡¡Muchas gracias por orar siempre por mí y tener confianza que lograría alcanzar esta meta!!

A mis hermanos que sin ninguna duda siempre estuvieron apoyándome y preocupándose por mí en el transcurso de esta carrera.

A Evelyn Campos, la cual siempre estuvo pendiente y dándome apoyo, por ser uno de mis impulsores para culminar esta carrera, ¡Muchas Gracias!

A toda mi familia y amigos, los cuales se les aprecia mucho, en los cuales de una u otra manera me ayudaron a mi formación profesional.

A mi pastor José Ernesto Chicas Cabrera, Q.E.P.D. en los cuales uno de muchos consejos al inicio de mi carrera fue:” Dios se refleja en tus retos, si tus retos son grandes así es Dios para ti”. Gracias por esa dedicación tan grande que tuviste en enseñarme Sabiduría,

Y, por último, pero no menos importante, Ing. Wilfredo Amaya Zelaya, por asesorarnos en este último proyecto, Gracias por ser ese mentor que hace un esfuerzo extra para tratar que el conocimiento difícil de entender como lo es la geodesia, sea más fácil y digerible para los que estamos iniciando en el tema.

Josué Samuel Acevedo Cárcamo

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, a Dios y a la Virgen María por cuidarme, acompañarme y guiado a lo largo de mi camino, por la sabiduría y las fuerzas necesarias en los momentos difíciles, por permitirme superar cada uno de los obstáculos y lograr concluir con éxito una etapa más en mí vida.

A mis Padres y hermanos por apoyarme en cada una de mis metas y sueños, por compartir tantos momentos de alegría y pena, y brindarme sus sabios consejos, su confianza, apoyo incondicional, amor, sacrificio, comprensión y las palabras de ánimo para salir adelante en las metas y sueños que me he propuesto. Por su paciencia y compromiso, a pesar de los momentos difíciles no podría haber pedido un mejor grupo familiar y estoy agradecido por cada uno de los momentos vividos.

A mis amigos y compañeros que me han acompañado a lo largo de mi vida en las buenas y malas.

Al ingeniero Wilfredo Amaya Zelaya por asesorarme y acompañarme en esta última etapa de estudio de mi carrera, gracias por los conocimientos transmitidos y el apoyo en la realización de este Trabajo de Graduación.

Mario Alberto Castaneda Castro.

RESUMEN

En la presente investigación se realizó el estudio de la ondulación geoidal en el área metropolitana de San Salvador, además se calcularon las elevaciones ortométricas utilizando modelos geoidales globales. Teniendo como objetivos la realización de mallas con las diferentes elevaciones (SNMM, Elipsoidales y ortométricas) y la comprobación de precisión de los modelos geoidales globales.

La realización de esta investigación inicia con la definición de los diferentes conceptos sobre la geodesia, sistema de referencias geodésicos, sistema de posicionamiento global, así como las técnicas de medición satelital; que son fundamental para el desarrollo y comprensión de los próximos capítulos que consiste en realizar levantamiento altimétrico con GPS de 29 Bancos de Marca proporcionados por el CNR que se encuentran distribuidos en el área metropolitana de San Salvador; con este levantamiento se obtendrán las elevaciones elipsoidales.

Con la diferencia de elevaciones elipsoidales y elevaciones SNMM se obtendrá la ondulación geoidal y posteriormente se realizarán mallas de elevaciones tanto para elipsoidales como para elevaciones SNMM, representando el promedio de la ondulación geoidal el cual dio como resultado de 1.76 metros.

Para realizar el levantamiento altimétrico de los bancos de marca, se debe realizar primeramente el reconocimiento de éstos con el propósito de ver aspectos importantes tales como la existencia y posición del punto, obstáculos existentes, ventana, mascara, seguridad de la zona etc. Una vez realizado el reconocimiento y levantamiento de los bancos de marca se procederá al procesamiento de datos crudos para la obtención de las elevaciones elipsoidales.

Para la obtención de elevaciones ortométricas se hará utilizando modelos de geoide globales EGM96 y EGM08 de los cuales se realizará una comparación entre ambos para la comprobación de cual modelo es más preciso. Dando como resultado en promedio de 54 centímetros para EGM96 y 29 centímetros para EGM08 con respecto a las elevaciones sobre el nivel medio del mar.

Finalmente se presentarán las conclusiones y recomendaciones de la investigación realizada, presentando los resultados obtenidos de las elevaciones elipsoidales, ondulación geoidal y elevaciones ortométricas. Además, la utilización de estos resultados.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	xxiii
CAPÍTULO I	
GENERALIDADES	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.3 OBJETIVOS	6
OBJETIVO GENERAL.....	6
OBJETIVOS ESPECIFICOS	6
1.4 ALCANCES.....	7
1.5 LIMITACIONES	8
1.6 JUSTIFICACIÓN	9
CAPÍTULO II	
SISTEMA GEODESICO DE REFERENCIA	11
2.1 Fundamentos de Geodesia.	11
Historia de la geodesia	13
Geodesia en El Salvador	18
Bases del sistema de referencia geodésicos.....	20
Definición del sistema de referencia	21
Sistemas de Coordenadas cartesianas y esféricas	22
Coordenadas esféricas.....	23
Sistema de coordenadas geográficas.....	24

2.2 ELIPSOIDE	25
Elipsoide	25
Elipsoides Clarke 1866, GRS 80, WGS 84.....	28
2.3 EL GEOIDE	32
Modelo Gravitacional de la Tierra (EGM)	33
Modelo Gravitacional de la Tierra (EGM96)	34
Modelo Gravitacional de la Tierra (EGM2008)	36
El modelo satelital ITG - GRACE03S	38
Modelo de geoide local:.....	39
Ondulación del Geoide y alturas ortométricas.	40
2.4 DATUM	42
2.4.1 DATUM HORIZONTALES: NAD27, WGS-84, ITRF, SIRGAS	45
Datum NAD27.....	45
Datum WGS-84	47
Datum ITRF	48
Datum SIRGAS.....	49
2.5 PROYECCIÓN CARTOGRÁFICA.....	51
Cónica Conformar de Lambert.....	51
2.6 MARCO Y SISTEMA DE REFERENCIA GEODÉSICO	52
LAMBERT NAD27.	54
LAMBERT SIRGAS-ES2007	55
CAPITULO III	
SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL	56

3.1	Principios del GPS.....	56
3.2	Conceptos Básicos.....	58
	GPS: (Global Positioning System).....	58
	Satélites.....	61
	Satélite Natural.....	61
	Satélite Artificial.....	61
	Efeméride.....	62
	Efemérides transmitidas.....	62
	Efemérides precisas.....	62
	Almanaque.....	63
	Reloj atómico.....	63
	Interfaz.....	63
	Antena.....	63
	Señal.....	63
	Onda Electromagnética.....	63
	Frecuencia.....	64
	Funcionamiento del Receptor GPS.....	64
3.3	Ventana.....	65
3.4	MÁSCARA.....	65
3.5	Análisis de los términos GDOP, PDOP, HDOP, VDOP y TDOP.....	66
3.6	Sistema GLONASS (GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM).	69
3.7	Sistema GALILEO (SISTEMA EUROPEO DE NAVEGACIÓN).	72
3.8	BEIDOU.....	75

3.9 SBAS.....	77
CAPITULO IV	
TECNICAS DE MEDICION SATELITAL	79
4.1 Técnica de Medición satelital	79
RECONOCIMIENTO	79
MONUMENTACIÓN	82
MEDICIÓN.....	84
4.2 TÉCNICA DE MEDICIÓN ESTÁTICA	84
4.3 MÉTODO DE MEDICIÓN ESTÁTICO RÁPIDO	85
4.4 TÉCNICA DE MEDICIÓN REAL KINEMATIC TIME (RTK).....	87
TRABAJO DE OFICINA.....	89
CAPITULO V	
RECOPIACIÓN DE DATOS ALTIMÉTRICOS ELIPSOIDALES.....	90
5.1 Selección de puntos estratégicos, para el área metropolitana de San Salvador.....	90
5.2 Metodología de recopilación de datos altimétricos.....	93
MEDICIÓN.....	95
Trabajo en campo.....	101
5.3 Procesamiento de datos.....	106
Procesamiento de Bancos de marca	114
Resultados de elevaciones elipsoidales.	131
CAPÍTULO VI	
CALCULO DE LA ONDULACION GEOIDAL	132

6.1 Realización de malla de elevaciones elipsoidales.....	132
6.2 Realización de malla de elevación Sobre el Nivel Medio del Mar.	135
6.3 Calculo de Ondulación Geoidal.	136
Promedio de ondulación geoidal.....	138
 CAPITULO VII	
CÁLCULO DE ELEVACIONES ORTOMETRICAS CON MODELOS	
GEOIDALES EGM96 Y EGM2008.....	139
7.1 Cálculo de elevaciones Ortométricas utilizando modelo geoidal EGM08.	
.....	139
Calculo de elevación ortométricas usando el software Trimble Total	
Control.....	139
Malla de elevaciones ortométricas usado modelo geoidal EGM08..	155
7.2 Cálculo de elevaciones Ortométricas utilizando modelo geoidal EGM96.	
.....	157
Calculo de elevación ortométricas usando el software Trimble Total	
Control.....	157
Malla de elevaciones ortométricas usado modelo geoidal EGM96..	161
Calculo de elevación ortométricas usando calculadora geodésica..	163
 CAPÍTULO VIII	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	167
CONCLUSIONES.....	167
RECOMENDACIONES	169
BIBLIOGRAFÍA	170

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imágen 2.1: Esquema sobre cómo calculó Eratóstenes la circunferencia terrestre.....	14
Imágen 2.2: 1957 la Unión Soviética puso en órbita el primer satélite artificial: el Sputnik.....	18
Imágen 2.3: Antigua red Geodésica de El Salvador.	19
Imágen 2.4: Sistema Geodésico de referencia	20
Imágen 2.5: Aproximación esférica de la tierra.....	22
Imágen 2.6: Sistema de coordenadas cartesianas.	22
Imágen 2.7: Sistema de coordenada esféricas.....	23
Imágen 2.8: Coordenadas Geográficas	25
Imágen 2.9: El elipsoide.....	25
Imágen 2.10: Sistema Elipsoidal.....	27
Imágen 2.11: Coordenadas geodésicas.	27
Imágen 2.12: Diferencia entre radio Ecuatorial y radio polar.	28
Imágen 2.13: Comparación de los Sistema Elipsoidal, Clarke 1866, GRS 80, WGS 84	31
Imágen 2.14: Geoide.	32
Imágen 2.15: Modelo Gravitacional de la Tierra EGM96	34
Imágen 2.16: Modelo Gravitacional de la Tierra EGM2008	36
Imágen 2.17: Modelo Gravitacional local ESGeide.....	40
Imágen 2.18: Ondulación del Geoide y alturas ortométricas	41
Imágen 2.19: Ondulación del Geoide en El Salvador	41

Imágen 2.20: Datum Local.....	43
Imágen 2.21: Datum Geocéntrico.	44
Imágen 2.22: Datum Geocéntrico y local.....	44
Imágen 2.23: Datum NAD 27 y NAD 28.....	45
Imágen 2.24: Datum ITRF	48
Imágen 2.25: Datum SIRGAS.....	50
Imágen 2.26: Proyección cartográfica.....	51
Imágen 2.27: Esquema de la proyección Conforme Cónica de Lambert.	52
Imágen 2.28: La proyección Cónica Conforme de Lambert con paralelos estándar a 20°N y 50°N.	52
Imágen 3.1: Segmento Espacial.	59
Imágen 3.2: Segmento de Control.	60
Imágen 3.3: Segmento del Usuario.....	61
Imágen 3.4: Esquema de la Ventana en una Observación.....	65
Imágen 3.5: Esquema de la Máscara en una Observación.	66
Imágen 3.6: Esquema de máscara no adecuada para la toma de mediciones.....	66
Imágen 3.7: a-) Buena geometría satelital, b-) Mala geometría satelital....	67
Imágen 3.8: Componentes DOP.....	68
Imágen 3.9: Constelación Satelital GLONASS.	71
Imágen 3.10: Constelación Satelital GALILEO	73
Imágen 4.1: Diagrama obstrucción.....	81
Imágen 4.2: Obstáculos existentes.....	82

Imágen 4.3:	Ejemplo de diseño de vértice.	83
Imágen 4.4:	Ejemplo de mojón para replanteo.	83
Imágen 5.1:	Bancos de marca	91
Imágen 5.2:	Bases seleccionadas	93
Imágen 5.3:	Ruta 1 Reconocimiento.....	94
Imágen 5.4:	Ruta 2 Reconocimiento.....	94
Imágen 5.5:	GPS Ashtech modelo Promark 2	95
Imágen 5.6:	GPS Trimble R8s	96
Imágen 5.7:	Antena Trimble Choke Ring.....	98
Imágen 5.8:	RECEPTOR: Topcon GB1000 y Antena Choke Ring	99
Imágen 5.9:	Método para el traslado del banco de marca.....	100
Imágen 5.10:	Ruta 1 para medición.....	100
Imágen 5.11:	Ruta 2 para medición.....	101
Imágen 5.12:	Ruta 3 para medición.....	101
Imágen 5.13:	Base CACHO y CNR1	102
Imágen 5.14:	Ruta 1-Medición de Bancos de marca	102
Imágen 5.15:	Traslado del banco de marca DD8.	103
Imágen 5.16:	Traslado del banco de marca DD2.	103
Imágen 5.17:	Ruta 2- Medición de Bancos de marca	104
Imágen 5.18:	Traslado del banco de marca D-hospital Militar	104
Imágen 5.19:	Traslado del banco de marca DA-1	104
Imágen 5.20:	Base BG01 y SSIA.....	105
Imágen 5.21:	Ruta 3- Medición de Bancos de marca	105

Imágen 5.22: Traslado del banco de marca DA-9	106
Imágen 5.23: Bajado de datos crudos SSiA link.....	106
Imágen 5.24: Bajado de datos crudos SSiA	107
Imágen 5.25: Bajado de datos crudos SSiA	107
Imágen 5.26: Bajado de datos crudos SSiA	108
Imágen 5.27: Bajado de datos crudos SSiA	108
Imágen 5.28: Programa Data transfer.....	109
Imágen 5.29: Transferencia de datos.	109
Imágen 5.30: Descargas de datos crudos.	110
Imágen 5.31: Datos crudos.....	110
Imágen 5.32: Trasferencia de datos crudos.....	111
Imágen 5.33: Trasferencia de datos crudos.....	111
Imágen 5.34: GNSS Solutions	111
Imágen 5.35: Interfaz de inicio de programa GNSS Solution.....	112
Imágen 5.36: Interfaz de trabajo del programa GNSS solution.....	112
Imágen 5.37: Trasferencia de datos crudos.....	113
Imágen 5.38: Trasferencia de datos crudos -tipo de puerto.....	113
Imágen 5.39: Trasferencia de datos crudos.....	114
Imágen 5.40: Trasferencia de datos crudos.....	114
Imágen 5.41: Programa Trimble Total Control.....	115
Imágen 5.42: Interfaz inicio de programa.....	115
Imágen 5.43: Ventanilla Nuevo proyecto.	116
Imágen 5.44: Interfaz de trabajo.	116

Imágen 5.45: Importación de datos crudo de bancos de marca.	117
Imágen 5.46: Cuadro de dialogo de importación de datos de medida del receptor.....	117
Imágen 5.47: Post-proceso de bancos de marca.	118
Imágen 5.48: Modificación de parámetros de antena	118
Imágen 5.49: Modificación de parámetros de antenas	119
Imágen 5.50: Modificación de parámetros de receptor.....	120
Imágen 5.51: Modificación de parámetros- tipo de medición y cambio de nombre.....	120
Imágen 5.52: Importación de bases CNR1 y CACHO	121
Imágen 5.53: Modificación de nombre cuadro de dialogo propiedad.....	122
Imágen 5.54: Modificación Coordenadas fijas.	122
Imágen 5.55: Fijar una base.	123
Imágen 5.56: Escrutinio de línea base.....	123
Imágen 5.57: Procesamiento de línea base.....	124
Imágen 5.58: Modificación de parámetros en procesamiento de línea base. ...	125
Imágen 5.59: Procesamiento de una línea base.....	125
Imágen 5.60: Procesamiento de red de líneas bases.....	126
Imágen 5.61: Primer ajuste con base CNR 1.....	126
Imágen 5.62: Ajuste de red con base CNR 1.....	127
Imágen 5.63: Ajuste de red de bases CNR 1 y CACHO.	127
Imágen 5.64: Modificación de coordenadas fija en Base CACHO.....	128
Imágen 5.65: Segundo ajuste con Base CNR1 y CACHO.....	128

Imágen 5.66: Red procesada.....	129
Imágen 5.67: Informe de proyecto.	129
Imágen 5.68: Informe de la red procesada -Coordenadas Elipsoidales.....	130
Imágen 6.1: Pantalla de inicio de Surfer.	132
Imágen 6.2: Creación de cuadrícula de datos.	132
Imágen 6.3: Datos a importar.	133
Imágen 6.4: Selección de datos.....	133
Imágen 6.5: Archivo con cuadrícula de datos.	134
Imágen 6.6: Creación de malla.	134
Imágen 6.7: Malla de elevaciones elipsoidales.....	134
Imágen 6.8: Malla de elevaciones SNMM.....	136
Imágen 6.9: Promedio de ondulación geoidal.....	138
Imágen 7.1: Descarga de modelo geoidal EGM08.	139
Imágen 7.2: Ruta a seguir para la colocación del archivo del modelo geoidal EGM08.	140
Imágen 7.3: Ruta a seguir para abrir la ventana del Administrador de sistema de coordenadas.....	140
Imágen 7.4: Administrador de sistema de coordenadas.....	141
Imágen 7.5: Ruta a seguir para abrir la ventana de propiedades del geode.	141
Imágen 7.6: Propiedades del geode.	142
Imágen 7.7: Nombre y Archivo del modelo geoidal.	142
Imágen 7.8: Modelo geoidal EGM08	142
Imágen 7.9: Transformación del datum.	143

Imágen 7.10: Ruta a seguir para abrir ventana de transformación de datum. .	143
Imágen 7.11: Creación de nuevo grupo de trasformaciones de datum.	144
Imágen 7.12: Propiedades y parámetros para el datum.	145
Imágen 7.13: SIRGAS-ES2007	145
Imágen 7.14: Sistemas de coordenadas.....	145
Imágen 7.15: Ruta para abrir la ventada para los parámetros de sistema de coordenada.....	146
Imágen 7.16: Parámetros de sistema de coordenada.	146
Imágen 7.17: Ruta para abrir la ventana de parámetros de la zona.	147
Imágen 7.18: Parámetros de la zona.....	147
Imágen 7.19: Modelo geoidal.....	148
Imágen 7.20: Parámetros de proyección.	149
Imágen 7.21: Trimble Total Control, procesamiento y ajuste de datos.	149
Imágen 7.22: Ruta para abrir venta de cambio de sistema de coordenadas...	150
Imágen 7.23: Nuevo sistema de coordenadas.....	150
Imágen 7.24: Seleccionar zona del sistema de coordenadas.....	151
Imágen 7.25: Seleccionar modelo geoidal.....	151
Imágen 7.26: Sistema EL SALVADOR LAMBERT SIRGAS-2007.....	152
Imágen 7.27: Ruta para abrir ventana de informe de proyecto.....	152
Imágen 7.28: Informe de proyecto.	153
Imágen 7.29: Informe de coordenadas EGM08.	153
Imágen 7.30: Malla de elevaciones ortométricas EGM08.....	155

Imágen 7.31: Malla entre elevaciones ortométricas EGM08 y elevaciones SNMM.....	157
Imágen 7.32: Ruta a seguir para regresar a proyección estándar de mapa.	158
Imágen 7.33: Selección de modelo geoidal EGM96.	159
Imágen 7.34: Informe de coordenadas EGM96.	159
Imágen 7.35: Malla de elevaciones ortométricas EGM08.....	161
Imágen 7.36: Malla entre elevaciones ortométricas EGM96 y elevaciones SNMM.....	162
Imágen 7.37: Mallas de elevaciones SNMM, EGM08, EGM96 y Elipsoidal.....	162
Imágen 7.38: Calculadora geodésica EGM96.	164
Imágen 7.39: Altura ortométricas EGM96.....	164

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1:	Parámetros principales para los elipsoides Clarke 1866, GRS80 y WGS84.....	28
Tabla 2.2:	Definición de la fórmula $H = h - N$	41
Tabla 2.3:	Proyección cónica conformal de Lambert NAD 27.....	54
Tabla 2.4:	Proyección cónica conformal de Lambert ES 2007	55
Tabla 5.1:	Bancos de Marca con su respectiva elevación SNMM.	92
Tabla 5.2:	Elevaciones elipsoidales	131
Tabla 6.1:	Elevaciones sobre el nivel medio del mar	135
Tabla 6.2:	Ondulación Geoidal.	137
Tabla 7.1:	Elevaciones ortométricas usando modelo geoidal EGM08..	154
Tabla 7.2:	Diferencia de elevaciones ortométricas y elevaciones SNMM...	156
Tabla 7.3:	Elevaciones ortométricas usando modelo geoidal EGM96..	160
Tabla 7.4:	Diferencia de elevaciones ortométricas y elevaciones SNMM...	161
Tabla 7.5:	Elevaciones ortométricas usando calculadora geodésica EGM96.....	165
Tabla 7.6:	Diferencia de elevaciones ortométricas entre software y calculadora geodésica	166

INTRODUCCIÓN

El Datum Vertical se define como la altura cero y es representado por las aguas marinas en reposo y continuadas por debajo de los continentes; para su determinación precisa son necesarias observaciones mareográficas continuas de la fluctuación de las mareas en Estaciones Mareográficas durante un periodo de 19.5 años.

El Nivel Medio del Mar (NMM) es la superficie de referencia que se adopta como datum, la Altura de cada banco de nivel o banco de Marca (BM) se define como la distancia vertical entre ésta y la superficie de referencia.

La nivelación es el procedimiento mediante el cual se determina el desnivel entre dos o más hechos físicos existentes entre sí y un plano de referencia, el cual es el Nivel Medio del Mar.

Existen tres métodos de nivelación utilizados en los trabajos Geodésicos: nivelación geométrica o geodésico, nivelación trigonométrica y nivelación satelital; este último utiliza el sistema de posicionamiento global conocido como GPS por sus siglas en inglés.

La Geodesia utiliza estos tres métodos, y agrega dos métodos más: el método gravimétrico y el barométrico. La cartografía utiliza también la restitución fotogramétrica.

La nivelación geométrica es el método más preciso y se lleva a cabo con un nivel óptico o electrónico tomando como Datum o punto de Referencia el Nivel Medio del Mar.

El Datum Vertical o Sistema de Referencia Vertical para El Salvador, fue establecido como parte de un Ajuste realizado por el IAGS¹ que incluyó desde el sur de México, cubriendo Guatemala, Honduras y El Salvador y se basó en observaciones tomadas en la Estación mareográfica localizada en el antiguo Puerto de Cutuco en el departamento de La Unión en 1960, por lo que es conocido como Datum La Unión.

Por tanto, todas las Líneas de Nivelación de nuestro país las cuales contienen Bancos de Marca o Puntos de Nivelación, tienen como punto de partida el Datum conocido como La Unión.

Los trabajos de Nivelación para proyectos de Ingeniería resultan bastante costosos, debido a la forma tradicional de realizar el levantamiento, es decir realizar el amarre vertical a uno o dos Bancos de Marca y realizar la nivelación tradicional en ida como en regreso, verificando las precisiones en milímetros en cada caso.

Mediante la aplicación del posicionamiento GPS, se ha facilitado la resolución de problemas prácticos en diversas áreas de la ingeniería; a

¹ Escuela Geodésica Interamericana

través de la obtención de coordenadas geodésicas y alturas elipsoidales referidas al sistema WGS84 de puntos de posicionamiento, pero las alturas elipsoidales no son aplicables en la resolución de estos problemas debido a que no se encuentran referidas al nivel medio del mar (geoide) como se requiere en las aplicaciones de ingeniería.

Es por esto que se genera la necesidad de obtener una ondulación geoidal del AMSS² la cual es el valor de la diferencia entre las alturas referidas al nivel medio del mar y las alturas elipsoidales en los puntos de posicionamiento.

Existen varios métodos para determinar las ondulaciones geoidales entre ellos se encuentran los Modelos Geopotenciales o Gravitatorios, Modelos Gravimétricos, y los Modelos Geométricos. Generalmente, los modelos geopotenciales utilizados por los usuarios que utilizan el Sistema GPS (Global Navigation satellite System) son el EGM96 y actualmente el EGM08.

² Área Metropolitana de San Salvador

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

Los métodos clásicos para determinar alturas sobre el nivel medio del mar de puntos sobre la superficie terrestre, son la nivelación geométrica con precisión de unos pocos centímetros o mejor, la nivelación trigonométrica con precisión de algunos decímetros y la nivelación barométrica con precisión más allá del metro.

El Sistema Global de Navegación por Satélite (Global Navigation Satellite System, GNSS) permite, midiendo en modo diferencial estático, obtener alturas elipsoidales muy precisas y mediante técnicas de interpolación superficial, puede estimarse las ondulaciones del geoide. Se logra así convertir alturas elipsoidales en alturas sobre el nivel medio del mar.

En nuestro país el ente Rector de la Geodesia es el Instituto Geográfico Nacional, institución dependiente del Centro Nacional de Registros, siendo el año 1998 en donde se comenzó a utilizar el Modelo Gravitacional EGM96 en proyectos en donde se requería poca precisión, ya que, por ser este modelo Global y no regional, las precisiones oscilaban entre 1 y 2 metros de precisión comparado con la Elevación de un Banco de Marca cuya elevación está referida al Nivel Medio del Mar.

Posteriormente en el año 2000, enmarcado en el Proyecto “Chambita Medidor” la Empresa originaria de Dinamarca Kampsax, como parte de los términos de Referencia para el Levantamiento Catastral de los Departamentos de San Salvador y La Libertad, diseñaron un proyecto para el cálculo de un Modelo Geoidal local que comprendiera ambos departamentos, no obteniendo resultados satisfactorios debido a la precisión obtenida y los insumos no eran viables, generando un producto no conforme de acuerdo a las exigencias requeridas

Fue hasta el año de 2009 que se comenzó a utilizar el Modelo Gravitacional 2008 conocido como EGM08 en proyectos de Fotogrametría, Geodesia y otros con unas precisiones abajo del metro.

Sin embargo en el año 2007 el Instituto Geográfico Nacional, a través de la Gerencia de Geodesia ejecutó un nuevo proyecto, la medición de una Nueva Red Geodésica vinculada al Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas y denominada SIRGAS-ES2007, procesada y avalada por el Instituto Alemán de Investigaciones Geodésicas DGFI, siendo esta red el soporte para el cálculo de un Modelo Gravitacional para El Salvador, el cual fue elaborado por el Instituto Nacional de España, siendo este un escalado del Modelo EGM-2008 y denominándose “ESGeoide” obteniendo precisiones subcentimétricas en comparación con Elevaciones de Bancos de Marca.

Lastimosamente, este insumo es uso exclusivo del Instituto Geográfico Nacional y no accesible para empresas que se dedican a mediciones con GPS o Universidades que requieren estudios sobre estos proyectos.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Con la utilización de los GPS, se puede determinar las coordenadas geodésicas latitud, longitud, y altura elipsoidal; siendo ésta una altura de carácter geométrico. Pero, en algunas aplicaciones es necesario que se determine una altura de carácter físico, como es la altura ortométrica. Siendo necesario que se haga una transformación entre las alturas, para lo cual es indispensable que se conozca la ondulación geoidal en ese punto. Existen diferentes métodos para calcular la ondulación geoidal en una determinada región, uno de ellos es usando los modelos geopotenciales como el EGM96 o EGM08. Estos modelos son utilizados cuando se realiza posicionamiento con GPS, y en especial en nuestro país, en vista de que no se dispone de un modelo geoidal de uso libre.

Para obtener las altitudes ha sido a partir de las redes de nivelación de alta precisión que materializan la componente vertical del sistema de referencia. Sin embargo, estas redes son muy costosas y difíciles de mantener, por lo que muchos países carecen de esta infraestructura. Aun teniéndola, las obtenciones de altitudes precisas por estos métodos son muy complicada, requiere de costosa inversión en tiempo y dinero. Un ejemplo de esto es la

problemática aun existente en el momento de determinar rigurosamente las altitudes ortométricas. La obtención de estas altitudes se hace muy complicada ya que nos enfrentamos al problema de tener que evaluar el valor medio de la gravedad a lo largo de la línea de la plomada cuando consideramos los efectos de la topografía del terreno. 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 altitudes elipsoidales proporcionadas por el GNSS. Si bien esto es cierto para cualquier país tanto más lo es para aquellas regiones que carecen de una red de nivelación, sin embargo, nuestro país cuenta con una densa red de Nivelación a lo largo y ancho del territorio, especialmente el Área Metropolitana de San Salvador (AMSS), gracias al Mantenimiento realizado por el Instituto Geográfico Nacional, lo cual facilitará los trabajos respectivos.

Como se sabe, uno de los problemas no resuelto de la geodesia (quizás el más importante de los mismos) es la carencia de un datum altimétrico global que nos permita obtener los valores absolutos de la ondulación del geoide, por lo que es necesario emplear modelos geopotenciales como alternativa. Los modelos geopotenciales pueden dividirse en globales y regionales. Los modelos globales vienen dados por los coeficientes de Stokes correspondientes al desarrollo del potencial en armónicos esféricos y algunas

otras constantes que los determinan. Sus valores se obtienen esencialmente mediante tres fuentes de datos. Los que proceden de la observación del movimiento perturbado de los satélites artificiales de la Tierra que contribuye proporcionando los coeficientes de menor grado (mayor longitud de onda).

La altimetría de satélite, que permite disponer de valores asociados a los océanos y por último de gravimetría terrestre (y muy recientemente aerotransportada) a partir de los que se determinan los coeficientes de mayor grado y por lo tanto de mayor resolución (menor longitud de onda). Durante mucho tiempo el mejor Modelo Geopotencial Global para fines geodésicos fue el EGM96 y recientemente fue publicado el modelo EGM08 en el que ha habido una notable mejoría en las tres fuentes de datos mencionadas anteriormente. A partir de estos modelos geopotenciales globales es posible calcular las magnitudes gravimétricas derivadas, en particular el geoide.

1.3 OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

Estudiar el Comportamiento de la Ondulación Geoidal en el AMSS para trabajos Geodésicos, topográficos y Cartográficos o en proyectos de poca precisión de datos obtenidos con técnicas satelitales.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Diseñar una malla con Elevaciones elipsoidales y elevaciones sobre el Nivel Medio del Mar, para encontrar la ondulación Geoidal de la zona en estudio y su aplicación a proyectos de Ingeniería Civil utilizando técnicas de medición satelital.
- Comprobar la precisión de los modelos geopotenciales globales y/o regionales disponibles y aplicables para la zona metropolitana de San Salvador.
- Calcular la Ondulación Geoidal promedio del AMSS y establecer los mecanismos para calcular las elevaciones ortométricas utilizando el Modelo Gravitacional local que mejor se ajuste a la zona de estudio.

1.4 ALCANCES

Con el estudio Se logrará establecer una metodología para la generación de una malla de ondulación geoidal, se obtendrán Bancos de Marca con sus respectivas elevaciones ortométricas provenientes del CNR ubicadas en la AMSS y con la medición con GPS con la técnica RTK o Estático Rápido se obtendrán las elevaciones elipsoidales de cada uno de los Bancos de Marca.

Se utilizarán modelos geopotenciales EGM96 y EGM2008 para el cálculo de cotas ortométricas desde las alturas elipsoidales obtenidas mediante mediciones GPS, realizando así la malla de ondulación geoidal para el área metropolitana de San Salvador.

Se realizará una comparación de los resultados obtenidos en los modelos geopotenciales EGM96 y EGM2008 para la obtención de elevaciones ortométricas, además, se obtendrá la ondulación geoidal promedio en área metropolitana de San Salvador, el cual se podrá utilizar para proyectos que requiera mayor precisión altimétrica.

1.5 LIMITACIONES

- La limitante principal es que nuestro país no cuenta un modelo Geoidal con precisión milimétrica, se tiene un modelo geoidal local el cual es un escalado del EGM2008 el cual no tiene gravimetría puntual; sino satelital y su uso es exclusivo del Instituto Geográfico Nacional, dependencia del Centro Nacional de Registros.
- Poco conocimiento de empresas privadas o autónomas sobre la obtención de elevaciones ortométricas obtenida con modelos geoidales en proyectos de Ingeniería.
- Debido a que se trata de topografía moderna, existen pocas investigaciones realizadas en nuestro país respecto a la utilización de los modelos geoidales como plataforma para la obtención de elevaciones.
- La inseguridad en el país, para realizar las mediciones respectivas con equipo GPS.

1.6 JUSTIFICACIÓN

Con el creciente empleo de las técnicas de posicionamiento global para la determinación de las coordenadas de los diferentes puntos de la superficie terrestre, tanto en aplicaciones topográficas como de ingeniería, se pone de manifiesto la necesidad del conocimiento de la superficie del geoide con la precisión necesaria, para dotar de altitud ortométricas a dichos puntos, ya que la ondulación del geoide, diferencia entre altitudes elipsoidales y ortométricas, puede llegar en nuestro país de 1 hasta 5 metros dependiendo de la zona de estudio, convirtiéndose en un elemento indispensable para la correcta definición de un sistema de referencia altimétrico.

Además, debido a que cada vez es mayor la interrelación entre numerosas disciplinas, cada día es más importante el conocimiento del geoide ya que son muchas las aplicaciones que requieren de él, tanto en el ámbito de la Geodesia y Geofísica como en el de la Hidrografía, Oceanografía, Geología, etc. Por lo tanto, las aplicaciones de los modelos de geoide van mucho más allá que las meramente cartográficas o geodésicas, complementando al resto de ciencias de la Tierra.

La necesidad de establecer una superficie de referencia para las alturas se explica por el gran potencial de utilidades que esta puede ofrecer. Entre algunos ejemplos podemos citar aplicaciones en el campo de la geofísica, la oceanografía, agrimensura, y otras ramas de la ingeniería. Hasta el momento

se está trabajando en encontrar modelos del geoide a nivel local cuya información pueda ser agregada a los modelos geopotenciales. Las técnicas y metodologías empleadas son varias y en muchos casos los resultados obtenidos satisfacen las necesidades para las cuales fueron generados. Sin embargo, no es posible hablar aún de un geoide cuyo desempeño cumpla con todos los requerimientos para ser empleado en proyectos de ingeniería en los que sea necesario contar con altos grados de exactitud; los modelos de geoide generados tienen importantes falencias principalmente en aquellas zonas en donde la información disponible para su elaboración es escasa.

Se calculará una malla de valores de ondulación del geoide para el Área Metropolitana de San Salvador. El modelo geopotencial o Gravitacional considerado en esta investigación serán los Modelos EGM-96 y EGM2008. El objetivo principal de esta investigación es determinar qué modelo geopotencial global se ajusta mejor a la AMSS y con cuanta precisión podemos determinar los valores absolutos de la ondulación del geoide partiendo de estos modelos geopotenciales.

CAPÍTULO II

SISTEMA GEODESICO DE REFERENCIA

2.1 Fundamentos de Geodesia.

La Geodesia es la ciencia que estudia la forma y dimensiones de la Tierra. Esto incluye la determinación del campo gravitatorio externo de la tierra y la superficie del fondo oceánico. Dentro de esta definición, se incluye también la orientación y posición de la tierra en el espacio.

Una parte fundamental de la geodesia es la determinación de la posición de puntos sobre la superficie terrestre mediante coordenadas (latitud, longitud, altura). La materialización de estos puntos sobre el terreno constituye las redes geodésicas, conformadas por una serie de puntos (vértices geodésicos o también señales de nivelación), con coordenadas que configuran la base de la cartografía de un país, por lo que también se dice que es "la infraestructura de las infraestructuras".

Los fundamentos físicos y matemáticos necesarios para su obtención, sitúan a la geodesia como una ciencia básica para otras disciplinas, como la topografía, fotogrametría, cartografía, ingeniería civil, navegación, sistemas de información geográfica, sin olvidar otros tipos de fines como los militares.

Desde el punto de vista del objetivo de estudio, se puede establecer una división de la geodesia en diferentes especialidades, aunque cualquier trabajo geodésico requiere la intervención de varias de estas subdivisiones:

- **Geodesia geométrica:** determinación de la forma y dimensiones de la Tierra en su aspecto geométrico, lo cual incluye fundamentalmente la determinación de coordenadas de puntos en su superficie.
- **Geodesia física:** estudio del campo gravitatorio de la Tierra y sus cambios en la corteza terrestre, mareas (oceánicas y terrestres) y su relación con el concepto de altitud.
- **Astronomía geodésica:** determinación de coordenadas en la superficie terrestre a partir de mediciones a los astros.
- **Geodesia espacial:** determinación de coordenadas a partir de mediciones efectuadas a satélites artificiales u otros objetos naturales o artificiales exteriores a la Tierra (GNSS, VLBI, SLR, DORIS) y relación con la definición de sistemas de referencia.
- **Microgeodesia:** medida de deformaciones en estructuras de obra civil o pequeñas extensiones de terreno mediante técnicas geodésicas de alta precisión.

Historia de la geodesia

En la época antigua

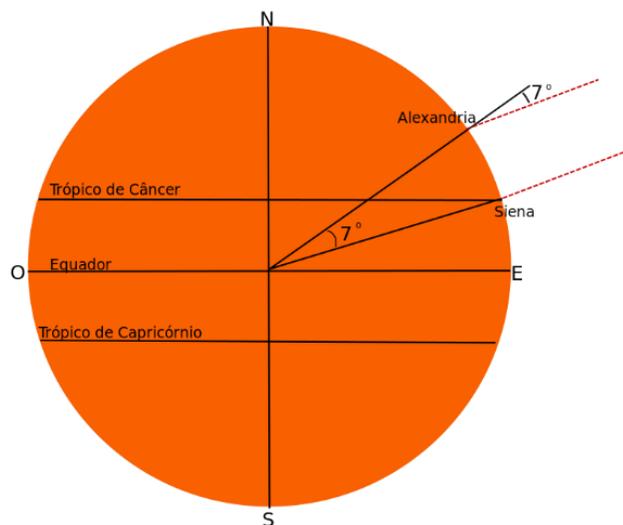
La Geodesia, tiene el mismo origen de la geometría, fue desarrollada en las altas culturas del oriente medio, con el objetivo de levantar y dividir las propiedades en parcelas. Las fórmulas usadas para calcular áreas, generalmente empíricas, fueron usadas por los agrimensores romanos y se encuentran también en los libros griegos, Herón de Alejandría, que inventó la dioptra, el primer instrumento geodésico de precisión, que también permitía la nivelación que aumentaba la serie de instrumentos de la Geodesia (groma, gnómon, mira, trena). Perfeccionó aún el instrumento de Ctesibio para medir grandes distancias. Alejandro Magno aún llevó bematistas para levantar los territorios conquistados.

Después de descubrir la forma esférica de la Tierra, Eratóstenes determinó por primera vez el diámetro del globo terráqueo.

Hiparco, Herón y Ptolomeo determinaban la longitud geográfica observando eclipses lunares, en el mismo instante, en dos puntos cuya distancia ya era conocida por mediciones.

En la Edad Media

En los libros de los Agrimensores romanos y por los árabes, se encuentran la información del uso del astrolabio, el cuadrante y el 'Bastón de Jacobo' para tareas geodésicas. Entre los instrumentos de la Geodesia, desde el siglo XIII, se encuentra también la brújula. En el siglo XVI, S. Münster y R. Gemma Frisius, desarrollaron los métodos de la intersección que permitía el levantamiento de grandes áreas. El nivel hidrostático de Heron, hace varios siglos olvidado, fue reinventado en el siglo XVII.



Imágen 2.1: Esquema sobre cómo calculó Eratóstenes la circunferencia terrestre

Época moderna.

En esta época, la Geodesia comenzó en el año 1617, cuando el holandés W. Snellius inventó la triangulación para el levantamiento de áreas grandes como regiones o países. La primera aplicación de la

triangulación fue el levantamiento de Württemberg por Wilhelm Schickard. En esta época, la Geodesia fue redefinida como "la ciencia y tecnología de la medición y de la determinación de la figura terrestre". Jean Picard realizó la primera medición de arco en el sur de París, cuyos resultados iniciaron una disputa científica sobre la geometría de la figura terrestre.

El elipsoide de rotación, achatado en los polos, fue definido por Isaac Newton en 1687, con su hipótesis de gravitación, y de Christiaan Huygens en 1690, con base en la teoría cartesiana del remolino. La forma de un elipsoide combinó también con algunas observaciones antes inexplicables, el atraso de un reloj pendular en Cayena, calibrado en París, observado por J. Richter en 1672, o el hecho del péndulo del segundo cuya longitud aumenta, aproximándose a la línea del ecuador.

La Academia de ciencias de París mandó realizar mediciones de arcos meridianos en dos diferentes altitudes del globo, una (1735-45 1751) por Pierre Bouguer y Charles Marie de La Condamine en el Ecuador, y otra 1736/37 en Finlandia, por Pierre Louis Maupertuis, Alexis-Claude Clairaut y Anders Celsius. Estas mediciones tenían como único objetivo la confirmación de la tesis de Newton y Huygens, aplicando los últimos conocimientos de la astronomía y los métodos más modernos de medición y rectificación de la época, como constantes astronómicas perfeccionadas (precesión, aberración de la luz, refracción atmosférica), nutación del eje

terrestre, medición de la constante de gravitación con péndulos y la corrección del desvío de la vertical, 1738 observado por la primera vez por P. Bouguer en las mediciones en el Chimborazo (Ecuador).

Juntamente con la remediación del arco de París por César-François Cassini de Thury y Nicolas Louis de Lacaille, la rectificación de las observaciones confirmó el achatamiento del globo terráqueo y, con eso, el elipsoide de rotación como figura matemática y primera aproximación en la geometría de la Tierra. En 1743, Clairaut publicó los resultados en su obra clásica sobre la Geodesia. En los años siguientes, la base teórica de la Geodesia fue perfeccionada, en primer lugar por d'Alembert ("Determinación del Achatamiento de la Tierra a través de la precesión y nutación") y también por Laplace, que determinó el achatamiento únicamente a través de observaciones del movimiento de la Luna, tomando en cuenta la variación de la densidad de la Tierra.

El desarrollo del Cálculo de Probabilidades (Laplace, 1818) y del Método de los Mínimos Cuadrados (C. F. Gauss, 1809) perfeccionaron la rectificación de observaciones y mejoraron los resultados de las triangulaciones. El siglo XIX comenzó con el descubrimiento de Laplace, que la figura física de la tierra es diferente del elipsoide de rotación, comprobado por la observación de desvíos de la vertical como diferencias entre latitudes astronómicas y geodésicas. En 1873 J. B. Listing usó, por primera vez, el

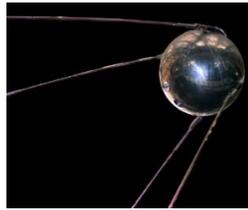
nombre geoide para la figura física de la Tierra. El final del siglo fue marcado por los grandes trabajos de mediciones de arcos meridianos de los geodestas junto con los astrónomos, para determinar los parámetros de aquel elipsoide que tiene la mejor aproximación con la Tierra física. Los elipsoides más importantes eran los de Friedrich Bessel (1841) y de Clarke (1886 1880).

La Geodesia en el Siglo XX

La Geodesia moderna comienza con los trabajos de Helmert, que usó el método de superficies en lugar del método de 'medición de arcos' y extendió el teorema de Clairaut para elipsoides de rotación introduciendo el 'Esferoide Normal'. En 1909 Hayford aplicó este método para el territorio entero de Estados Unidos.

En el siglo XX se formaron asociaciones para realizar proyectos de dimensión global como la Association géodésique internationale (1886 - 1917, Central en Potsdam) o la L'Union géodésique et géophysique internationale (1919). La Geodesia recibió nuevos empujes a través del vínculo con la computación, que facilitó el ajuste de redes continentales de triangulación, y de los satélites artificiales (En el año 1957 la Unión Soviética puso en órbita el primer satélite artificial: el Sputnik I) para la medición de redes globales de triangulación y para mejorar el conocimiento sobre el geoide. Helmut Wolf describió la base teórica para un modelo libre de

hipótesis de una Geodesia tridimensional que, en forma del WGS84, facilitó la definición de posiciones, midiendo las distancias espaciales entre varios puntos vía a GPS, y vino el fin de la triangulación, y la fusión entre la Geodesia Superior y la Geodesia Inferior (la topografía).



Imágen 2.2: 1957 la Unión Soviética puso en órbita el primer satélite artificial: el Sputnik

En la discusión de las tareas para el porvenir próximo de la Geodesia se encuentra la determinación del geoide como superficie equipotencial arriba y abajo de la superficie física de la tierra ($W=0$) y la Geodesia dinámica para determinar la variación de la figura terrestre con el tiempo para fines teóricos (datos de observación para la comprobación de la teoría de Wegener) y prácticos (determinación de terremotos, etc.).

Geodesia en El Salvador

En los años de los 50's y 60's se establecieron las primeras redes geodésicas en El Salvador, aproximadamente fueron 1500 puntos o vértices en todo el país.

La Red Geodésica Nacional en ese tiempo, estaba constituida por tres arcos principales de triangulación: Arco Norte, Central y Costero. Estas redes tenían líneas bases de longitud de 20 a 70 Km, de donde se derivaban

cadenas de segundo y tercer orden, establecidas para diferentes proyectos de la ingeniería civil y agricultura, además eran utilizados para Fotografías Aéreas, etc. Los vértices geodésicos que se instaló en esa época eran de distinto orden de precisión, además de 160 líneas de nivelación con más de 3,000 Bancos de Marca, igualmente de diferente orden.



Imagen 2.3: Antigua red Geodésica de El Salvador.

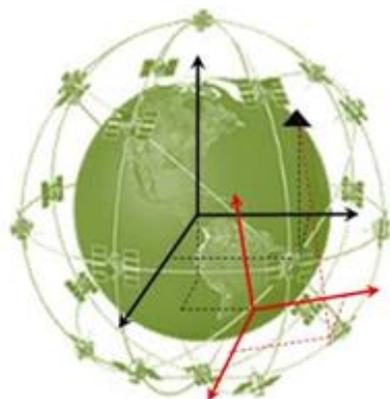
El Centro Nacional de Registros-Instituto Geográfico Nacional, inicia a mediados de la década de los 90's, en esta época se realiza un proyecto de gran trascendencia, en el cual consistió en establecer su primera Red Geodésica de Primer Orden con equipo satelital GPS, enmarcándolo en el Sistema Geodésico Mundial (WGS-84).

Esta nueva Red Geodésica se subdivide en tres Redes:

- Red de Referencia Salvadoreña (RRS)
- Red Geodésica Básica (RGB)

- Red de Densificación Salvadoreña (RDS)

Actualmente, la Gerencia de Geodesia del Instituto Geográfico Nacional está trabajando en labores de Mantenimiento de las Redes Geodésicas Departamentales, el mantenimiento de la Red Nacional de Nivelación, el mantenimiento de las fronteras con Honduras y Guatemala, así como trabajos relacionados en el tema Hidrográfico, colaboración en estudios de desplazamientos de placas tectónicas, pronósticos de mareas.



Imágen 2.4: Sistema Geodésico de referencia

Bases del sistema de referencia geodésicos.

Un **sistema de referencia geodésico** es un recurso matemático que permite asignar coordenadas a puntos sobre la superficie terrestre. Son utilizados en geodesia, navegación, cartografía y sistemas globales de navegación por satélite para la correcta georreferenciación de elementos en la superficie terrestre. Estos sistemas son necesarios dado que la Tierra no es una esfera perfecta. Dentro de estos cabe distinguir los sistemas locales, que

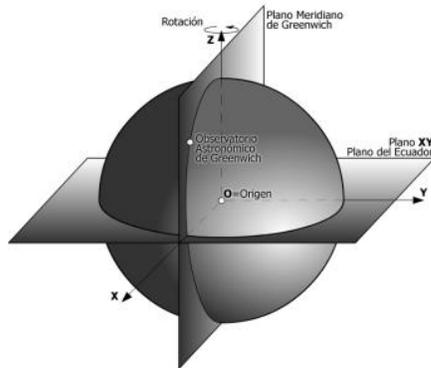
utilizan para su definición un elipsoide determinado y un punto datum, y los sistemas globales cuyos parámetros están dados por coordenadas rectangular (X, Y, Z) cuyo origen se encuentra en el geocentro terrestre. Para definir las coordenadas geodésicas (latitud, longitud y altura) cuentan con un elipsoide de revolución asociado. En la realidad tanto el centro como los ejes son inaccesibles en la práctica.

Definición del sistema de referencia

Se utilizarán unos ejes de coordenadas fijos sobre la Tierra, es decir, que giren con ella, de manera que las coordenadas de un punto, en principio, serán siempre las mismas. Los convencionalismos que llevan el sistema de referencia a convencional son:

- Origen: Centro de masas terrestres o geocentro, incluyendo la atmósfera y los océanos.
- Eje Z: coincide con el eje de rotación terrestre.
- Plano meridiano: pasa por cualquier punto de la tierra y contiene al eje de rotación.
- Plano ecuador: es perpendicular al eje de rotación y pasa por el geocentro.
- Eje X: se sitúa en la dirección del plano meridiano que pasa por Greenwich y contenido en el plano ecuador. Es considerado internacionalmente como meridiano origen o meridiano cero desde 1884.

- Eje Y: contenido en el plano ecuador y perpendicular al eje X y su sentido será tal que los tres ejes formen una triplete dextrógira (sentido de las agujas del reloj).

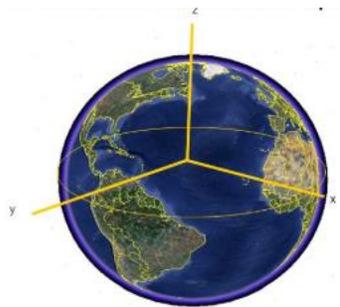


Imágen 2.5: Aproximación esférica de la tierra.

Sistemas de Coordenadas cartesianas y esféricas

Coordenadas cartesianas

Son Cualquier punto de la superficie terrestre presentará coordenadas (X, Y, Z) definida, siendo estos puntos los que constituyen el marco de referencia,



Imágen 2.6: Sistema de coordenadas cartesianas.

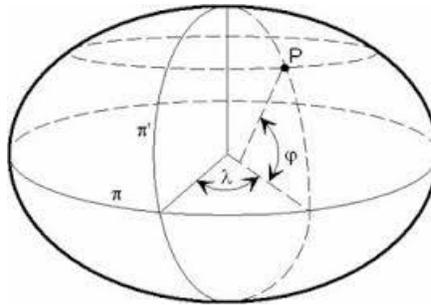
Coordenadas esféricas.

Es habitual el uso de coordenadas esféricas para los puntos sobre la Tierra, (r, φ, λ) , donde, de forma general:

r : es la distancia radial al geocentro,

φ : la latitud geocéntrica (ángulo entre r y el plano del ecuador) y

λ : la longitud geocéntrica (ángulo entre el plano meridiano de Greenwich y el del punto de cálculo, medido en el plano del ecuador).



Imágen 2.7: Sistema de coordenada esféricas.

Relación entre las coordenadas esféricas y las cartesianas:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = r \begin{pmatrix} \text{Cos} \lambda \text{ Cos} \varphi \\ \text{Sen} \lambda \text{ Cos} \varphi \\ \text{Sen} \varphi \end{pmatrix}$$

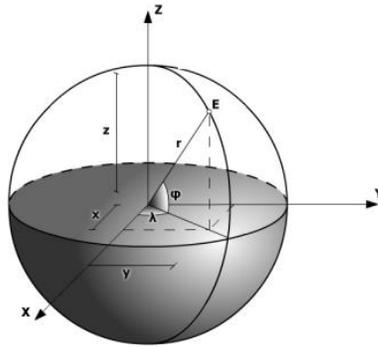
Para la correcta definición de la distancia radial r (distancia diferente para cada punto de la Tierra y que no sigue ningún patrón geométrico exacto), se debe introducir una superficie de referencia como aproximación a la forma real de la Tierra.

Sistema de coordenadas geográficas

En primera aproximación la Tierra es una esfera homogénea de radio R . El eje de rotación corta la superficie terrestre en dos puntos: el polo geográfico Norte (PN) y en el polo geográfico Sur (PS). El polo geográfico Norte es aquel desde el que, si se observa la Tierra hacia su interior, está rota en el sentido contrario a las agujas del reloj.

La vertical de cualquier punto sobre la superficie terrestre pasará por el centro de la Tierra. La posición de un punto E de la superficie de la Tierra se determina por dos coordenadas, figura 2.8:

- Se llama latitud geográfica (φ) del punto E al ángulo que forma la vertical de E con el plano del ecuador terrestre. La latitud geográfica varía de 0° a 90° en el hemisferio boreal (latitud norte) y de 0° a -90° en el hemisferio austral (latitud sur).
- Se llama longitud geográfica (λ) del punto E al ángulo que forma el meridiano del punto con el meridiano origen. La longitud geográfica varía de 0° a 180° en el hemisferio oriental y de 0° a -180° en el hemisferio occidental, es decir, el primero al este y el segundo al oeste.

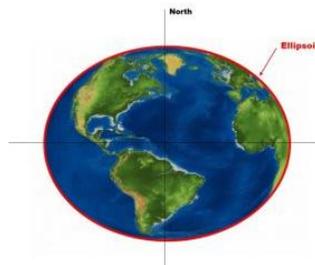


Imágen 2.8: Coordenadas Geográficas

2.2 ELIPSOIDE:

Elipsoide:

Para definir la forma general de la tierra, el ser humano se dispuso a formar un concepto en el cual facilitaría la complejidad matemática de esta, la respuesta de dicha complejidad fue: Representar la tierra con mucha aproximación mediante un elipsoide de revolución. Esto Además de ser un concepto más sencillo, se dispone de una ecuación matemática, que permite la aplicación de conceptos geométricos, estableciendo así una base práctica para el trabajo con coordenadas y la definición de sistemas de referencia.



Imágen 2.9: El elipsoide

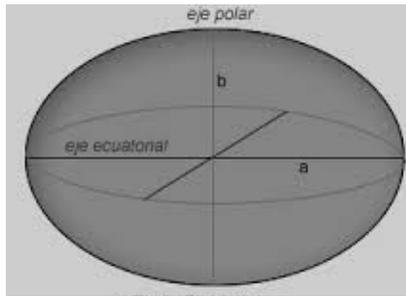
Esta hipótesis fue planteada por Isaac Newton (1687), y corroborada posteriormente con numerosas experiencias. No obstante, podemos seguir tratando de asimilar la forma de la Tierra a la de una superficie teórica, la que se denomina un *elipsoide*. Sobre un elipsoide, el radio de la Tierra ya no es constante, sino que depende del emplazamiento.

El sistema elipsoidal se define en función de los siguientes parámetros:

- Superficie de referencia: dimensiones (semiejes a, b; figura 2.10).
 - -Semieje ecuatorial (a) o semieje mayor: Longitud del semieje correspondiente al ecuador, desde el centro de masas de la Tierra hasta la superficie terrestre.
 - Semieje polar (b) o semieje menor: Longitud del semieje desde el centro de masas de la Tierra hasta uno de los polos.

El elipsoide se genera por la revolución de una elipse alrededor de éste.

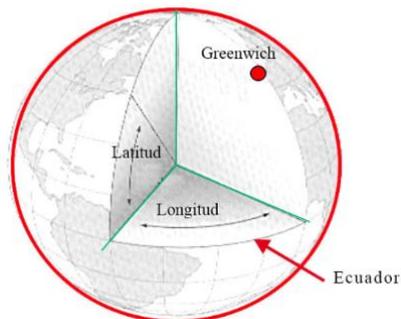
- Ejes o líneas de referencia en la superficie.
- Sentidos de medida.
- Aplastamiento del elipsoide $\frac{1}{f} = 1 - \left(\frac{b}{a}\right)^2$



Imágen 2.10: Sistema Elipsoidal

Coordenadas geodésicas serán:

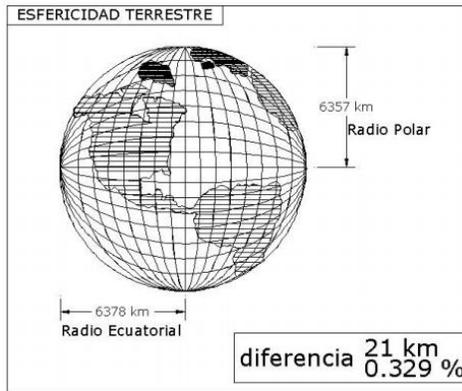
- Latitud geodésica: es el ángulo que forma la vertical geodésica del punto con el plano ecuador geodésico.
- Longitud geodésica: es el ángulo formado por el meridiano geodésico del punto de cálculo y el meridiano geodésico origen.



Imágen 2.11: Coordenadas geodésicas.

El planeta tierra tiene un radio ecuatorial (máximo) de aproximadamente 6378km., frente a un radio polar de 6357km (mínimo) con una diferencia de

21km., lo que supone un 0.329% del radio ecuatorial, una cantidad inapreciable (figura 2.12).



Imágen 2.12: Diferencia entre radio Ecuatorial y radio polar.

Elipsoides Clarke 1866, GRS 80, WGS 84

Tabla 2.1: Parámetros principales para los elipsoides Clarke 1866, GRS80 y WGS84.

Parámetro	Notación	Clarke 1866	GRS80	WGS84
Semieje mayor	a	6378206,4 m	6378137 m	6378137 m
Semi eje menor	b	6356583,8 m	6356752,314 m	6356752,314 m
Achatamiento	f	0,003390075304	0,003352810688	0,003352810672
Inversa aplanamiento	f^{-1}	294,978698213898	298,257221538148	298,257222932869
primera excentricidad	e^2	0,006768657997	0,006694380036	0,006694380004
Segunda excentricidad	e'^2	0,006814784946	0,006739496788	0,006739496757
Velocidad angular de la tierra	ω	$7292115 \times 10^{-11} \text{rad.s}^{-1}$	$7292115 \times 10^{-11} \text{rad.s}^{-1}$	$7292115 \times 10^{-11} \text{rad.s}^{-1}$

Fuente: Elaboración a partir de Rapp, 1984, Jekeli, 2008, Hooijberg, 1998 y Hooijberg, 2008.

La Agencia Nacional de Imágenes y Cartografía (NIMA) ha designado a WGS-84 como el elipsoide y el dato principal para todos los productos de mapeo, cartografía y geodésicos.

Debido a la gran cantidad de productos cartográficos, geográficos y geodésicos producidos por (NIMA) para el Departamento de Defensa (DoD); se hizo evidente que se necesitaba un único sistema de coordenadas geocéntricas para asegurar la precisión y una interfaz de usuario más fácil. Un sistema geocéntrico proporciona una referencia básica para la figura matemática de la Tierra. También proporciona un medio para establecer varios datos geodésicos para un sistema de coordenadas Centrado en la Tierra, Fijo a la Tierra (ECEF). Este sistema se denomina Sistema Geodésico Mundial (WGS).

Anteriormente, DoD había adoptado tres sistemas de este tipo: WGS-60, WGS-66 y WGS-72. Con cada sistema demostrando ser más preciso que el anterior, el WGS-72 aún puede usarse para algunas aplicaciones, aunque tiene varias deficiencias. Por ejemplo, el Modelo Gravitacional de la Tierra WGS-72 y el Geoide son obsoletos. Además, se necesitaban cambios de datos más precisos de los datos geodésicos locales a un WGS. Varios factores contribuyeron a la necesidad de reemplazar WGS-72. Estos incluyen el reemplazo de NAD 27 con NAD 83 y el desarrollo del Datum geodésico australiano 1984. Además, se hizo disponible un gran aumento de

datos y tipos de datos más avanzados (rango de satélites, por ejemplo). WGS-84 fue desarrollado como el reemplazo de WGS-72.

Al determinar el elipsoide WGS-84 y sus parámetros definidos, el Comité de Desarrollo WGS-84 siguió de cerca los procedimientos utilizados por la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica (IUGG) que ya había desarrollado el Sistema de Referencia Geodésico 1980 (GRS-80). Se utilizaron cuatro parámetros para desarrollar WGS-84: el semieje mayor (a), la constante gravitacional (GM) de la Tierra, la constante gravitacional zonal de segundo grado normalizada y la velocidad angular de la Tierra. Todos son idénticos a GRS-80, excepto que la zonal normalizada de segundo grado utilizada es la del modelo gravitacional WGS-84 en lugar de la notación utilizada para GRS-80.

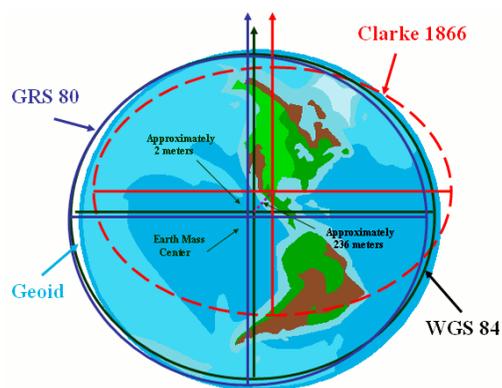
Como resultado de esa diferencia, los parámetros elipsoides difieren ligeramente entre GRS-80 y WGS-84. Estas diferencias son insignificantes desde el punto de vista de la aplicación práctica; por lo tanto, se ha aceptado que GRS-80 y WGS-84 son iguales y sus datos asociados se basan en el mismo elipsoide.

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.

Ahora se sabe que el centro del elipsoide Clarke 1866 empleado en el dato NAD 27 está aproximadamente a 236 metros del centro del GRS 80, según lo colocado por los datos NAD 83.

El elipsoide WGS-84 difiere muy ligeramente del elipsoide GRS 80. La diferencia en el aplanamiento entre estos dos elipsoides causa una desviación máxima de 0.1 milímetros en altura elipsoidal en el polo terrestre. Esta diferencia se considera insignificante para Datum vertical. El origen del elipsoide GRS 80 está a aproximadamente 2 metros de distancia del elipsoide de WGS-84.



Imágen 2.13: Comparación de los Sistema Elipsoidal, Clarke 1866, GRS 80, WGS 84

2.3 EL GEOIDE

El geoide es una superficie equipotencial especificada, definida en el campo de gravedad de la Tierra, que se adapta mejor, en un sentido de mínimos cuadrados, al nivel medio global del mar (NMGM). Es ondulado, liso y continuo, se extiende ficticiamente debajo de los continentes al mismo nivel y, por definición, perpendicular en cualquier punto a la dirección de la gravedad. Cabe señalar que, debido a efectos como la presión atmosférica, la temperatura, los vientos y corrientes predominantes y las variaciones de salinidad, el NMGM puede salir de una superficie equipotencial en un metro o más.

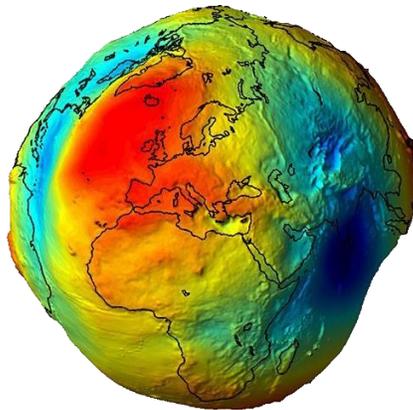


Imagen 2.14: Geoide.

El geoide es similar y, a veces, se confunde con el NMM porque ambos se basan en factores similares (como las fuerzas gravitacionales). Sin embargo, el geoide es mucho más preciso porque es una representación geométrica localmente calculada de la forma física real de la tierra.

Modelo Gravitacional de la Tierra (EGM)

El conocimiento exacto del potencial gravitacional de la Tierra, a escala global y a muy alta resolución, es un prerequisite fundamental para diversas investigaciones y aplicaciones geodésicas, geofísicas y oceanográficas. En los últimos 50 años más o menos, las mejoras continuas y los refinamientos de la teoría básica del modelado gravitacional han sido paralelos a la disponibilidad de datos más precisos y completos y a las mejoras dramáticas en los recursos computacionales disponibles para estudios de modelado numérico. Estos avances han llevado el estado del arte de los primeros modelos armónicos esféricos de grado 8, que se extiende hasta el grado 21 esto proporcionó una breve revisión de los principales desarrollos en el modelado de campo gravitacional global durante el siglo XX.

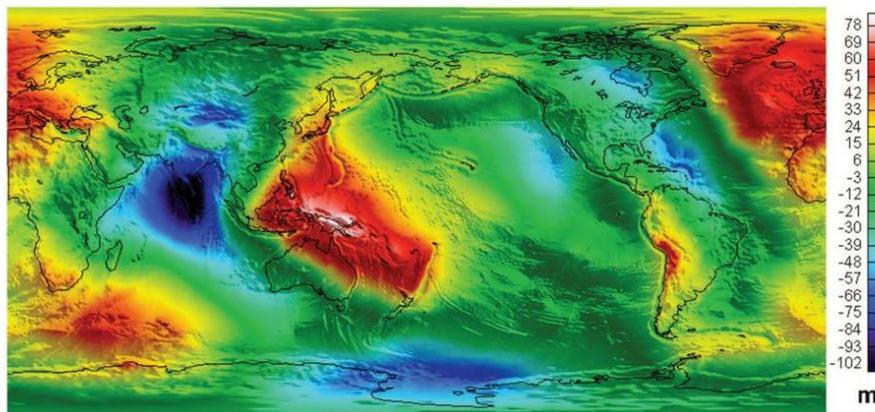
Existen numerosos usos para estos modelos de coeficientes potenciales de alto grado. En los últimos años, dos tipos de aplicaciones han jugado un papel importante al enfatizar la necesidad de modelos gravitacionales globales precisos y de alta resolución.

- Primero, sobre áreas terrestres, el posicionamiento GPS y las alturas geoidales determinadas gravimétricamente ofrecen la posibilidad de determinar alturas ortométricas y diferencias de altura sin la necesidad de nivelación, Aquí se puede utilizar un modelo global de alto grado, ya sea como referencia para apoyar el desarrollo de geoides

regionales más detallados o para proporcionar las alturas de geoides por sí solo.

- En segundo lugar, sobre las áreas oceánicas, la necesidad de determinar la Topografía oceánica dinámica absoluta y sus pendientes, a partir de Alturas de la superficie del mar derivadas del altímetro y un modelo gravitacional global, impone requisitos muy estrictos de precisión y resolución en los modelos globales de alto grado. Además, se puede utilizar un modelo gravitacional global de alto grado único y preciso para proporcionar la superficie de referencia para la realización de un dato vertical global.

Modelo Gravitacional de la Tierra (EGM96)



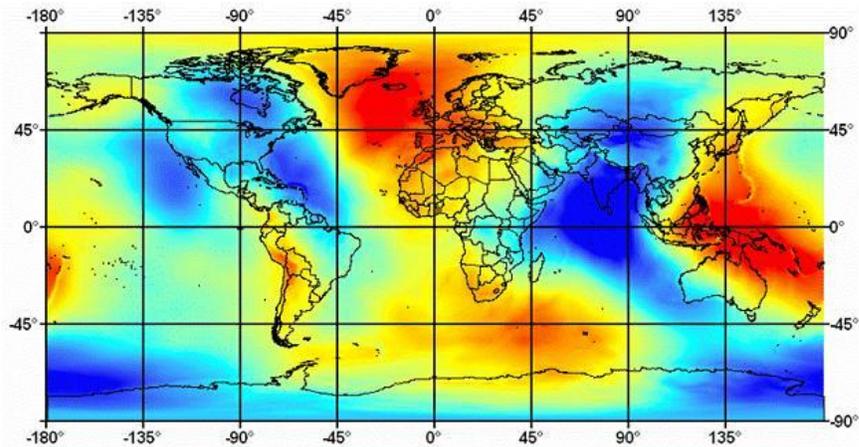
Imágen 2.15: Modelo Gravitacional de la Tierra EGM96

La forma del modelo gravitatorio terrestre WGS-84 EGM96 es una expansión armónica esférica del potencial gravitacional (V). El WGS-84 EGM96,

completo a través del grado (n) y el orden (m) 360, está compuesto por 130,317 coeficientes.

EGM96 fue un esfuerzo conjunto que requirió datos de gravedad NIMA, datos de seguimiento satelital NASA / GSFC y datos de seguimiento DoD en su desarrollo. El esfuerzo de GSFC consistió en el modelado de órbita satelital mediante el seguimiento de más de 30 satélites, incluidos los nuevos satélites rastreados por Satellite Laser Ranging (SLR), sistema de satélite de seguimiento y transmisión de datos (TDRSS) y técnicas de GPS en el desarrollo de EGM96S (el único modelo satelital de EGM96 hasta el grado 70). El desarrollo del modelo combinado para 70 x 70 incorporó altimetría satelital directa (TOPEX / POSEIDON, ERS-1 y GEOSAT) con EGM96S y ecuaciones normales de gravedad de superficie. Las principales adiciones a los datos de seguimiento satelital utilizados por GSFC incluyeron nuevas observaciones de Lageos, Lageos-2, Ajisai, Starlette, Stella, TOPEX y GPSMET junto con GEOS-1 y GEOSAT. Finalmente, GSFC desarrolló la solución de alto grado EGM96 por la función combinada en grado y orden 70 con una solución de bloque diagonal de grado y orden 71 a 359 y una solución en cuadratura en grado y orden 360.

Modelo Gravitacional de la Tierra (EGM2008)



Imágen 2.16: Modelo Gravitacional de la Tierra EGM2008

La primera década del nuevo milenio se ha llamado "La década de los geopotenciales" y ha visto el lanzamiento de tres misiones dedicadas de mapeo de campos de gravedad: CHAMP lanzado en julio de 2000, GRACE lanzado en marzo de 2002, y GOCE lanzado en marzo de 2009. Considerando estos avances, y en particular la disponibilidad esperada de modelos gravitacionales de longitud de onda larga muy precisos de GRACE, la Agencia Nacional de Inteligencia Geoespacial (NGA) decidió embarcarse en el desarrollo de un nuevo Modelo Gravitacional de la Tierra (EGM) para servir como: (a) un reemplazo de EGM96 y (b) un modelo de referencia candidato (previo al lanzamiento) para el análisis de los datos que se adquirirán de GOCE. Se decidió desde el principio que el nuevo EGM se desarrollaría combinando el mejor modelo disponible satelital derivado de

GRACE. GRACE se complementaría con la información de longitud de onda corta contenida dentro de los datos de anomalías de gravedad de 5 minutos de arco. El objetivo de precisión para el nuevo EGM se estableció en ± 15 cm de error de comisión de ondulación de geoide de raíz cuadrada global (RMS). El trabajo analítico y numérico requerido para garantizar la preparación técnica para el desarrollo del nuevo EGM comenzó en serio alrededor del año 2000, 2006 y 2007. Siguiendo el ejemplo de EGM96, PGM2007A también se proporcionó para evaluación a un Grupo de Trabajo Especial independiente, que funciona bajo los auspicios de la Asociación Internacional de Geodesia (IAG) y el Servicio Internacional de Gravedad (IGFS). Basado en parte en los comentarios recibidos de este Grupo de Trabajo, el desarrollo del modelo final, designado EGM2008, se completó a fines de marzo de 2008, y EGM2008 fue presentado y lanzado a la comunidad científica el 17 de abril de 2008.

EGM2008 es un modelo armónico esférico del potencial gravitacional de la Tierra, desarrollado por una combinación de mínimos cuadrados del modelo gravitacional ITG-GRACE03S y su matriz de covarianza de error asociada, con la información gravitacional obtenida de un conjunto global de anomalías de gravedad de aire libre de media de área definido en una cuadrícula equiangular de 5 minutos de arco. Esta cuadrícula se formó fusionando datos de gravedad terrestre, derivados de la altimetría y aerotransportados. En

áreas donde solo se disponía de datos de gravedad de menor resolución, su contenido espectral se complementaba con información gravitacional implícita en la topografía. EGM2008 está completo en grado y orden 2159, y contiene coeficientes adicionales hasta grado 2190 y orden 2159. Sobre áreas cubiertas con datos de gravedad de alta calidad, Las discrepancias entre las ondulaciones geoidales EGM2008 y los valores independientes de GPS / nivelación son del orden de ± 5 a ± 10 cm. Las desviaciones verticales de EGM2008 sobre EE. UU. Y Australia están dentro de ± 1.1 a ± 1.3 segundos de arco de valores astro geodésicos independientes. Estos resultados indican que EGM2008 se desempeña de manera comparable con los modelos de geoides regionales detallados contemporáneos. EGM2008 funciona igualmente bien con otros modelos gravitacionales basados en GRACE en los cálculos de órbita. Sobre EGM96, EGM2008 representa una mejora por un factor de seis en resolución, y por factores de tres a seis en precisión, dependiendo de la cantidad gravitacional y el área geográfica. EGM2008 representa un hito y un nuevo paradigma en el modelado de campo de gravedad global, al demostrar por primera vez que, dada la información gravimétrica precisa y detallada.

El modelo satelital ITG - GRACE03S

Se utilizó en el desarrollo de EGM2008 se calculó en el Instituto de Geodesia Teórica de la Universidad de Bonn en Alemania. ITG - GRACE03S se basa

en los datos de seguimiento de satélite (SST) de GRACE adquiridos durante el período de 57 meses desde septiembre de 2002 hasta abril de 2007.

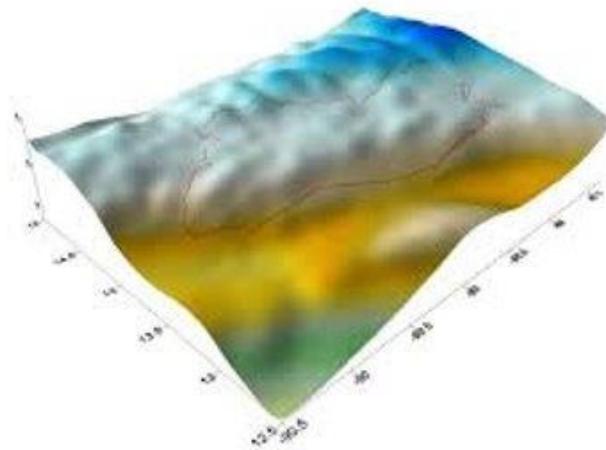
En 2020, NGA planea lanzar un nuevo EGM, tentativamente llamado EGM2020, donde EGM2008 se convertirá en un producto heredado, pero por el momento y para esta tesis el EGM2008, es el modelo a escala mundial más completo y preciso obtenido. Este modelo ha mejorado los anteriores modelos globales existentes, obteniendo una desviación estándar del orden del decímetro o algo mejor.

Modelo de geoide local:

Son modelos creados en una zona o área en específico, por lo que la densidad de puntos ayuda a generar mucha más precisión que un modelo de geoide global. La determinación del Geoide local es sumamente necesario para el desarrollo de aplicaciones topográficas avanzadas por medio de GPS, en el cual puede servir de base para obtener alturas ortométricas precisas de una región.

En el país se desarrolló un proyecto en donde se hizo un análisis de modelo de geoide local con precisión centimétrica denominado ESGeoides, el Instituto Geográfico Nacional tomó como base la red Básica Nacional SIRGAS_ES2007 posteriormente se aplicó un modelo escalado del EGM 08 y el método de diferencias finitas para superficies de mínima curvatura,

generando así una superficie correctora, en el cual dio como resultado un escalado de El modelo de Geoide de El Salvador con base al EGM 08.



Imágen 2.17: Modelo Gravitacional local ESGeoide

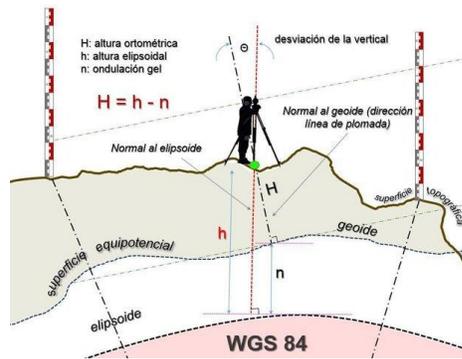
Ondulación del Geoide y alturas ortométricas.

En la utilización de los métodos avanzados para la medición topográfica con GPS descubrimos que los desniveles determinados con GPS (h) no son comparables con los desniveles ortométricos (H) o físicos que se calculan a través de la nivelación clásica por lo que no es posible Nivelar con GPS, en la sección anterior se menciona sobre la altura del geoide, obtenida por el modelo de geoide, este se utiliza para encontrar alturas ortométricas en cualquier punto y así poder llegar a la aproximaciones de las alturas reales en mediciones verticales, esto se calcula por medio de la siguiente formula.

$$H=h-N$$

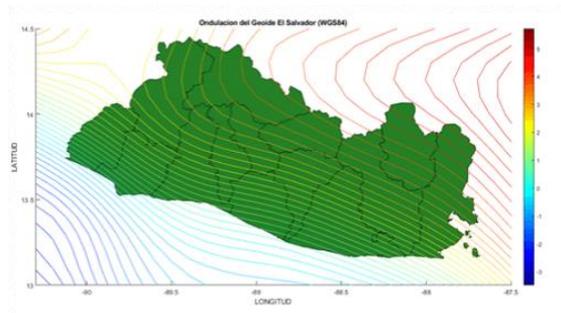
Tabla 2.2: Definición de la fórmula $H = h - N$

Variable:	Representa:	Descripción
H	Altura ortométrica	Es la altura de la superficie equipotencial hacia la superficie topográfica, esta es perpendicular al geoide,
h	Altura elipsoidal	Es la elevación por encima o por debajo del elipsoide de referencia de nuestro receptor GPS
N	Altura geoide / ondulación	Es el desplazamiento entre las referencias de geoide y elipsoide; encontramos N en el modelo de geoide



Imágen 2.18: Ondulación del Geoide y alturas ortométricas

La ondulación del geoide de El Salvador varía dependiendo de la altura, entre más subimos a los departamentos de Chalatenango y Cabañas la ondulación del geoide es mayor, y es menor en la zona costeras puesto que el geoide y el elipsoide se interceptan en esa área, el mapa que se presenta esta referido al elipsoide WGS 84.



Imágen 2.19: Ondulación del Geoide en El Salvador

2.4 DATUM

Es un conjunto de puntos de referencia en la superficie terrestre con los cuales las medidas de la posición son tomadas y un modelo asociado de la forma de la tierra (elipsoide de referencia) para definir el sistema de coordenadas geográfico.

El Datum sirve para hacer que un Sistema de Coordenadas Geográficas represente fielmente la superficie de la Tierra y salve las irregularidades de la misma, ya que esta no es esférica. Aunque existe un Datum Geocéntrico, cada continente o país ha definido su propio Datum para adaptar mejor el Sistema de Coordenadas Geográficas a su superficie. Por tanto, las coordenadas geográficas no suelen ser universales, sino que son relativas al Datum de referencia elegido.

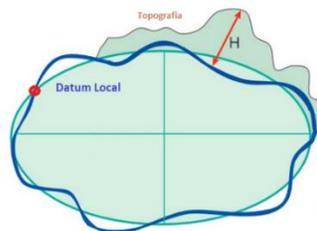
Datum se divide en:

- **Un datum horizontal:** Punto de referencia geodésico para los levantamientos de control horizontal, del cual se conocen los valores: latitud, longitud y azimut de una línea a partir de este punto y los parámetros del elipsoide de referencia.
- **Un 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. 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 geode es reemplazado por un elipsoide biaxial, se puede definir la altura elipsoidal (h), también llamada altura geométrica.

También existe otras definiciones de Datum.

- **Datum local:** Un datum local alinea su elipsoide para que se ajuste estrechamente a la superficie de la tierra en un área determinada. Un punto de la superficie del esferoide se asocia a una posición determinada en la superficie de la tierra. Este punto se conoce como punto del origen del datum. Las coordenadas del punto del origen son fijas y todos los demás puntos se calculan a partir de él.

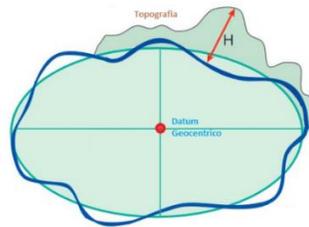


Imágen 2.20: Datum Local.

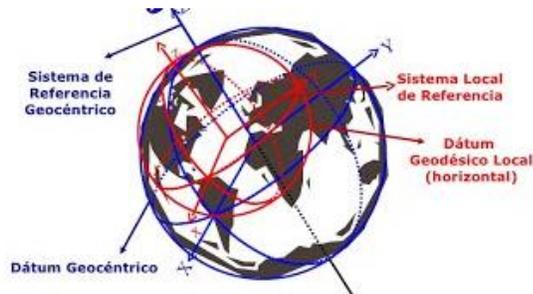
El origen del sistema de coordenadas de un datum local no se encuentra en el centro de la tierra. El centro del elipsoide de un datum local está desplazado respecto al centro de la tierra. NAD 1927 y el Datum europeo de 1950 (ED 1950) son datums locales. NAD 1927 se diseñó para que se ajustara a América del Norte razonablemente bien, mientras que ED 1950 se creó para su uso en Europa. Dado que un datum local alinea tan

estrechamente su elipsoide a un área determinada de la superficie de la tierra, no es adecuado para su uso fuera del área para la que se diseñó.

- **Datum Geocéntrico:** En los últimos 15 años, los datos de los satélites han proporcionado nuevas mediciones para definir el elipsoide que mejor se ajusta a la tierra, que relaciona las coordenadas con el centro de masa de la tierra. Un datum centrado en la tierra o geocéntrico utiliza el centro de masa de la tierra como origen. El último datum desarrollado, ampliamente utilizado, es WGS 1984. Sirve como marco para la medición mundial de ubicaciones



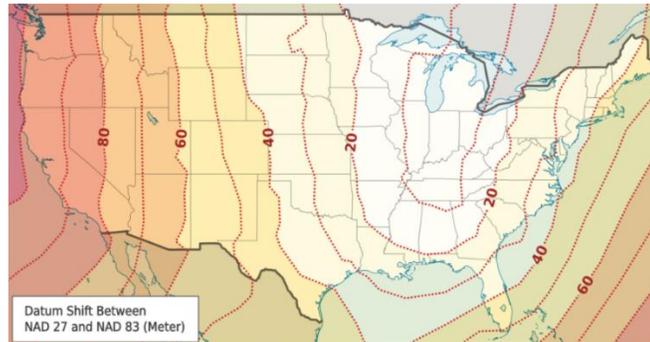
Imágen 2.21: Datum Geocéntrico.



Imágen 2.22: Datum Geocéntrico y local.

2.4.1 DATUM HORIZONTALES: NAD27, WGS-84, ITRF, SIRGAS

Datum NAD27:



Imágen 2.23: Datum NAD 27 y NAD 28

NAD27 también conocido como Datum norteamericano de 1927. NAD27 es el ajuste de encuestas de línea de base larga. En general, estableció una red de posiciones horizontales estandarizadas en América del Norte. La mayoría de los mapas y proyectos topográficos históricos del USGS del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE. UU. Utilizaron NAD27 como sistema de referencia.

Un dato horizontal proporciona un marco de referencia como base para colocar ubicaciones específicas en puntos específicos del Elipsoide. Los geodestas usan un dato horizontal como modelo para traducir un elipsoide a ubicaciones en la Tierra con líneas de latitud y longitud. Los datos geodésicos forman la base de las coordenadas de todas las posiciones horizontales en la Tierra. Todas las coordenadas en la Tierra están referenciadas a un dato horizontal. El Datum norteamericano de 1927

(NAD27) es uno de los tres datos geodésicos principales utilizados en América del Norte.

NAD27 utiliza todos los estudios geodésicos horizontales recopilados en este momento utilizando un ajuste de mínimos cuadrados. Este dato utiliza el elipsoide Clarke de 1866 con una latitud y longitud fija en Meade's Ranch, Kansas. (39 ° 13'26.686 " de latitud norte, 98 ° 32'30.506 " de longitud oeste)

Kansas fue seleccionado como un punto de referencia común porque estaba cerca del centro de los Estados Unidos contiguos. Las latitudes y longitudes de cualquier otro punto en América del Norte se basaron en su dirección, ángulo y distancia del rancho de Meade. Cualquier punto con una latitud y longitud lejos de este punto de referencia podría medirse en el elipsoide Clarke de 1866.

Los topógrafos reunieron aproximadamente 26,000 estaciones en los Estados Unidos y Canadá. En cada estación, los topógrafos recolectaron coordenadas de latitud y longitud. La Encuesta Geodésica Nacional de NOAA utilizó estas estaciones de prospección y triangulación para formar el dato NAD27.

Con el paso del tiempo, el número de estaciones también creció. Por ejemplo, los topógrafos evaluaron aproximadamente 250,000

estaciones. Este conjunto de posiciones horizontales formó la base para el Datum norteamericano de 1983 (NAD83). En 1983, el dato NAD27 fue finalmente reemplazado por NAD83.

El Salvador adoptó este datum en el año 1962, la información geodésica y cartográfica antigua está referida a dicho datum.

Datum WGS-84

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 con coordenada (0,0,0). En el sistema cartesiano

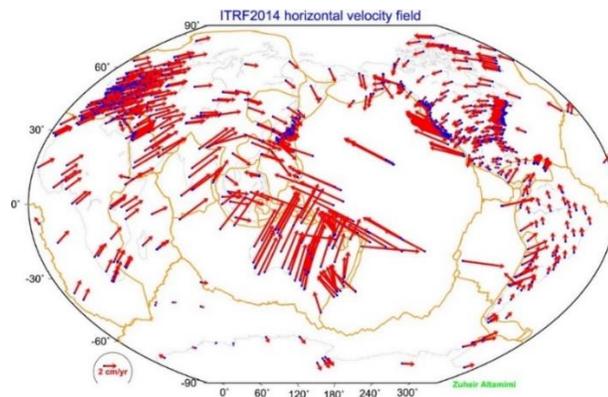
El Datum WGS 84 se desarrolló en los inicios del Sistema de Posicionamiento Global, ya que el GPS utiliza este sistema de referencia, esto ha sido una de las principales ventajas que este sistema tiene respecto a los sistemas de referencia locales estos no son compatibles con el (GPS).

Esto ha llevado al desarrollo de modelos de elipsoides globales como WGS72, GRS80 y WGS84 (actual). El Sistema Geodésico Mundial (WGS84) es el sistema de coordenadas de referencia utilizado por el Sistema de Posicionamiento Global.

Nunca antes habíamos podido estimar el elipsoide con tanta precisión debido al conjunto global de mediciones proporcionadas por el GPS. Se compone de

un elipsoide de referencia, un sistema de coordenadas estándar, datos de altitud y un geoide. Similar a NAD 83, utiliza la masa central de la Tierra como origen de coordenadas. Se cree que el error está a menos de 2 centímetros de la masa central.

Datum ITRF



Imágen 2.24: Datum ITRF

La Tierra está cambiando constantemente de forma. Para ser entendido en contexto, cuando se observa el movimiento de la corteza terrestre, debe ser referenciado. Un marco de referencia terrestre proporciona un conjunto de coordenadas de algunos puntos ubicados en la superficie de la Tierra. Se puede usar para medir tectónica de placas, subsidencia regional o carga y / o para representar la Tierra al medir su rotación en el espacio. Esta rotación se mide con respecto a un marco vinculado a objetos estelares, llamado marco de referencia celestial. El Servicio Internacional de Rotación y Sistemas de Referencia de la Tierra (IERS) se creó en 1988 para establecer y mantener

un Marco de Referencia Celestial, el ICRF, un Marco de Referencia Terrestre, el ITRF. Los parámetros de orientación de la tierra (EOP)) conectan estos dos cuadros juntos. Estos marcos proporcionan una referencia común para comparar observaciones y resultados de diferentes ubicaciones. Hoy en día, se utilizan cuatro técnicas geodésicas principales para calcular coordenadas precisas: GPS, VLBI, SLR y DORIS. 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 desde el año 1988. El último es el ITRF20014. Todas estas realizaciones incluyen posiciones de estación y velocidades. Modelan los cambios seculares de la corteza terrestre, por eso pueden usarse para comparar observaciones de diferentes épocas.

Datum SIRGAS

El SIRGAS inicial fue llamado SIRGAS95, corresponde al ITRF94, época 1995, está dada por una red GPS de alta precisión con 58 estaciones distribuidas sobre América del Sur. Esta red fue reocupada en el año 2000, extendiéndose a los países del Caribe y de Centro y Norte América. Por esta razón, el significado original del acrónimo SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para América del Sur) cambió a Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas. La segunda realización de SIRGAS (SIRGAS2000) incluye 184 estaciones y corresponde al ITRF2000, época

2000.4. La precisión de las coordenadas de estas dos realizaciones está entre ± 3 , ± 6 mm.

Mientras que las primeras realizaciones de SIRGAS, SIRGAS95 y SIRGAS2000, se basan en dos campañas GPS, la tercera y actual realización está dada por una red de estaciones GNSS de operación continua distribuida en América Latina. Esta red, llamada SIRGAS-CON, está compuesta actualmente por aproximadamente 400 estaciones y es procesada rutinariamente por los Centros de Análisis SIRGAS con el fin de proporcionar una realización precisa y actual del marco de referencia.

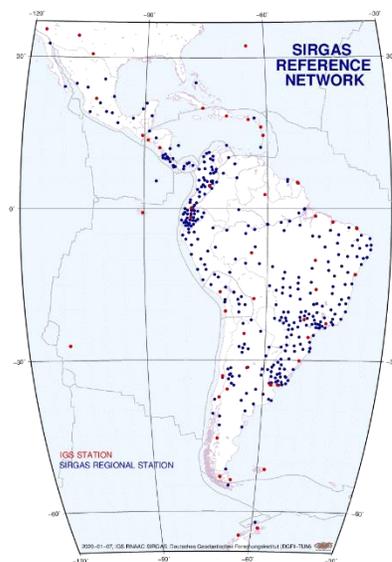
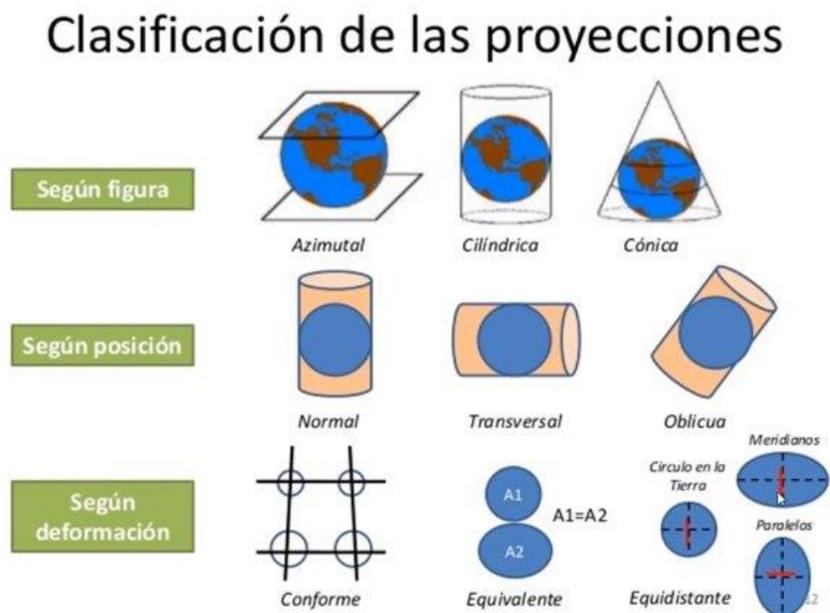


Imagen 2.25: Datum SIRGAS

2.5 PROYECCIÓN CARTOGRÁFICA:

La proyección cartográfica son las proyecciones de la tierra llevada de tres dimensiones a dos dimensiones, con la ayuda de superficies ya sea estas cilíndricas, cónicas y planas (azimutales), que a su vez pueden ser normal transversal u oblicuas.

Todas las proyecciones tienen un margen de error ya sea por las distorsiones de las proyecciones, por lo cual los países eligen la proyección que más se acerca a la realidad de cada región.



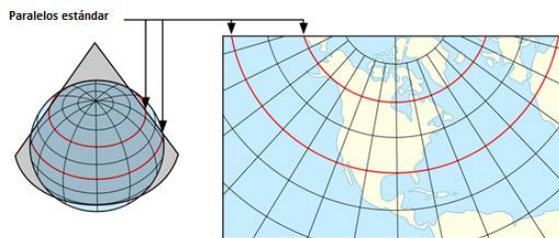
Imágen 2.26: Proyección cartográfica

Cónica Conformar de Lambert.

La proyección conforme cónica de Lambert, o, más sencillamente, proyección de Lambert es una de las proyecciones

cartográficas presentadas por el matemático, físico, filósofo y astrónomo Mulhousiano Johann Heinrich Lambert en 1772.

En esencia, la proyección superpone un cono sobre la esfera de la Tierra, con dos paralelos de referencia secantes al globo e intersecándolo. Esto minimiza la distorsión proveniente de proyectar una superficie tridimensional a una bidimensional. La distorsión es nula a lo largo de los paralelos de referencia, y se incrementa fuera de los paralelos elegidos.



Imágen 2.27: Esquema de la proyección conforme cónica de Lambert.



Imágen 2.28: La proyección cónica conforme de Lambert con paralelos estándar a 20°N y 50°N.

2.6 MARCO Y SISTEMA DE REFERENCIA GEODÉSICO.

Un sistema de referencia establece o une todos los parámetros del Datum, Elipsoide y proyección cartográfica, para obtener el mismo lenguaje en los datos que se quiere trabajar, el sistema es establecido por cada instituto

geográfico de cada país, y El marco de referencia son todos los puntos físicos en los cuales está amarrado el sistema de referencia, ya sea estos, mojones o bancos de marca.

En el planeta tierra, hay diferentes elipsoides, datum y proyecciones cartográficas, estos cambian al rededor del mundo, algunos países utilizan sus propios sistemas de referencias para obtener coordenadas precisas con respecto a la zona donde se tienen el proyecto.

En El Salvador antiguamente ocupaba el siguiente sistema de referencia Geodésicos que más se apegaba a la superficie territorial, Este sistema de referencia contiene los parámetros del Datum horizontal NAD27 (tipo físico), Elipsoide Clark 1866 y la proyección cónica conformar de Lambert; este fue establecido por el Instituto Geográfico Nacional.

LAMBERT NAD27.

Tabla 2.3: Proyección cónica conformal de Lambert NAD 27.

PROYECCIÓN CÓNICA CONFORMAL DE LAMBERT NAD 27		
Proyección	Lambert NAD 27	
Coordenadas de entradas	Latitud y longitud.	
Semieje mayor	a=6378206.4m	
Semieje menor	b=6356583.8	
Achatamiento	1/f=294.97869821390	
Excentricidad	e ² =0.006768657997291	
Falso Este	500000.000	
Falso Norte	295809.184	
Paralelo de origen	13°47´ N (Valor en NAD 27)	
Meridiano de origen	89°00´ W(Valor en NAD 27)	
1 paralelo estándar	13°19´ N (Valor en NAD 27)	
2 paralelo estándar	14°15´ N (Valor en NAD 27)	
Factor de escala en el meridiano		
Origen:	0.99996704	
Tx=0	Ty=125	Tz=194

Ahora en el país estamos en una etapa transicional; estamos tomando el sistema de referencia LAMBERT SIRGAS-ES2007, está conformado por los

parámetros del Elipsoide GRS80, Datum SIRGAS-ES2007 (Geocéntrico) y la Proyección cónica conformar de Lambert.

LAMBERT SIRGAS-ES2007

Tabla 2.4: Proyección cónica conformal de Lambert ES 2007

PROYECCIÓN CÓNICA CONFORMAL DE LAMBERT ES2007		
Proyección	Lambert SIRGAS-ES2007	
Coordenadas de entradas	Latitud y longitud. Referidas a WGS84	
Elipsoide	WGS 1984/GRS80	
Semieje mayor	a=6378137m	
Semieje menor	b=6356752.31414m	
Achatamiento	1/f=298.257222101	
Excentricidad	e ² =0.0066943800229	
Parámetros de la proyección		
Falso Este	500000.000	
Falso Norte	295809.184	
Paralelo de origen	13°47'03.477624''N (Valor en SIRGAS)	
Meridiano de origen	88° 59' 59.938692" W (Valor en SIRGAS)	
1 paralelo estándar	13°19'03.477624''N (Valor en SIRGAS)	
2 paralelo estándar	14°15'03.477624''N (Valor en SIRGAS)	
Factor de escala en el meridiano		
Origen:	0.99996704	
Parámetros de transformación datum SIRGAS-ES2007		
Tx=0	Ty=0	Tz=0

CAPITULO III

SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL

3.1 Principios del GPS.

En la década de 1960, el sistema de navegación terrestre OMEGA, basado en la comparación de fase de las señales emitidas a partir de pares de estaciones terrestres, se convirtió en el primer sistema mundial de radio de navegación. Las limitaciones de estos sistemas impulsaron la necesidad de una solución de navegación más universal con más precisión.

La Armada Estadounidense aplicó esta tecnología de navegación utilizando satélites para proveer a los sistemas de navegación de sus flotas observaciones de posiciones actualizadas y precisas. El sistema debía cumplir los requisitos de globalidad, abarcando toda la superficie del globo; continuidad, funcionamiento continuo sin afectarle las condiciones atmosféricas; altamente dinámico, para posibilitar su uso en aviación y precisión. Esto llevó a producir diferentes experimentos como el Timation (Timation Satellite Program) y el sistema 621B en desiertos simulando diferentes comportamientos.

Así surgió el sistema TRANSIT, que quedó en operativo en 1964, y hasta 1967 estuvo disponible, además, para uso comercial militar. TRANSIT estaba constituido por una constelación de seis satélites en órbita polar baja, a una altitud de 1074 km. Tal configuración conseguía una cobertura mundial, pero

no constante. La posibilidad de posicionarse era intermitente, pudiendo acceder a los satélites cada 1,5 horas. El cálculo de la posición requería estar siguiendo al satélite durante quince minutos continuos.

En 1967, la U.S. Navy (armada de los Estados Unidos) desarrolló el satélite Timation, que demostró la viabilidad de colocar relojes precisos al espacio, una tecnología requerida por el GPS.

Posteriormente, en esa misma década y gracias al desarrollo de los relojes atómicos, se diseñó una constelación de satélites, portando cada uno de ellos uno de estos relojes y estando todos sincronizados con base en una referencia de tiempo determinado.

En 1973 se combinaron los programas de la Armada y de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos (este último consistente en una técnica de transmisión codificada que proveía datos precisos usando una señal modulada con un código de PRN (Pseudo-Random Noise: ruido pseudoaleatorio), en lo que se conoció como Navigation Technology Program (programa de tecnología de navegación), posteriormente renombrado NAVSTAR GPS.

Entre 1978 y 1985 se desarrollaron y lanzaron once satélites prototipo experimentales NAVSTAR, a los que siguieron otras generaciones de satélites, hasta completar la constelación actual, a la que se declaró con

«capacidad operacional inicial» en diciembre de 1993 y con «capacidad operacional total» y utilidad civil en abril de 1995.

En 2009, el gobierno de los Estados Unidos ofreció el servicio normalizado de determinación de la posición para apoyar las necesidades de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), y ésta aceptó el ofrecimiento.

3.2 Conceptos Básicos

GPS: (Global Positioning System)

es un sistema que proporciona a cualquier usuario que disponga de un receptor adecuado. su posición (latitud, longitud y altitud). su velocidad y su hora correspondiente de una forma continua y en cualquier parte del mundo. El sistema está compuesto por tres segmentos: Espacial, de Control y del Usuario.

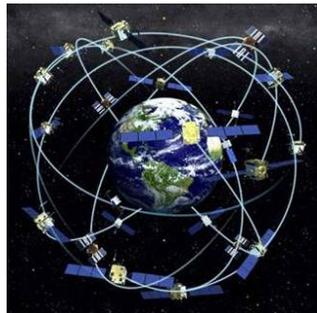
Segmento Espacial:

El segmento espacial GPS (figura 3.1) consiste en una constelación de satélites que transmiten señales de radio a los usuarios.

Estados Unidos se compromete a mantener la disponibilidad de al menos 24 satélites GPS operativos, el 95% del tiempo.

Para garantizar este compromiso, la Fuerza Aérea ha estado volando 31 satélites GPS operativos durante los últimos años.

El periodo de revolución es de 12 horas siderales (o sea 11 horas 58 minutos). Cada satélite hace dos veces la vuelta de la Tierra en 24 horas siderales, o sea 23 horas 56 minutos. En consecuencia, los satélites son visibles 4 minutos más temprano cada día.



Imágen 3.1: Segmento Espacial.

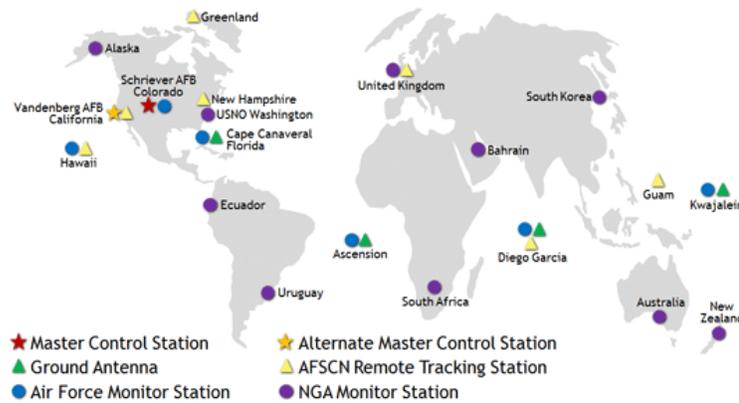
Segmento de Control:

El segmento de control GPS (figura 3.2) consiste en una red global de instalaciones terrestres que rastrean los satélites GPS, monitorean sus transmisiones, realizan análisis y envían comandos y datos a la constelación.

El segmento de control operativo (OCS) actual incluye una estación de control maestra, una estación de control maestra alternativa, 11 antenas de comando y control y 16 sitios de monitoreo.

Este sistema de control es operado por el Comando Espacial de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos. Las estaciones de observación (MS) perciben la emisión de cada satélite y envían información a la estación maestra de control (MCS) en la base aérea Falcon en Colorado, Estados Unidos.

Debido a que las órbitas de los satélites varían por el efecto de fuerzas irregulares (campo de gravedad, atmósfera, etc.), los satélites no siguen con exactitud la órbita predicha. La estación MCS utiliza la información de las estaciones de observación para determinar la posición real de cada satélite en el espacio. Esta información es el mensaje de navegación ascendente enviado diariamente a cada satélite desde la estación MCS por medio de las antenas terrestres (GA).



Imágen 3.2: Segmento de Control.

Segmento del Usuario:

Compuesto por los instrumentos empleados por los usuarios del sistema (figura 3.3).

Los receptores de los usuarios utilizan las señales de los satélites para calcular su propia posición, su velocidad y para sincronizarse sobre el reloj de los satélites.

La índole gratuita, interrumpida y fiable del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) ha permitido a los usuarios de todo el mundo desarrollar cientos de aplicaciones que afectan casi todas las facetas de la vida moderna.



Imágen 3.3: Segmento del Usuario.

Satélites:

existen dos tipos de satélites, Naturales y Artificiales.

Satélite Natural:

Es un cuerpo celeste que orbita alrededor de un planeta. Generalmente el satélite es más pequeño y acompaña al planeta en su órbita alrededor de su estrella madre. A diferencia de los fragmentos que orbitan formando un anillo, es el único cuerpo en su órbita.

Satélite Artificial:

Es un ingenio enviado en una lanzadera espacial que se mantiene en órbita alrededor de cuerpos del espacio. Los satélites artificiales orbitan alrededor de satélites naturales, asteroides o planetas. Tras su vida útil, pueden quedar

orbitando como basura espacial, o pueden desintegrarse reingresando en la atmósfera (cosa que ocurre solamente si su órbita es de poca altura).

Efeméride:

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

Efemérides transmitidas:

cada satélite transmite su propia efeméride extrapoladas, la que repite cada 30 segundos, 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.

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 (300 000 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.

Funcionamiento del Receptor GPS:

Cada satélite procesa dos tipos de datos: las Efemérides que corresponden a su posición exacta en el espacio y el tiempo exacto en UTM (Universal Time Coordinated), y los datos del Almanaque, que son estos mismos datos, pero en relación con los otros satélites de la red, así como también sus órbitas. Cada uno de ellos transmite todos estos datos vía señales de radio ininterrumpidamente a la Tierra.

Una vez que el receptor GPS ha captado la señal de, al menos, cuatro satélites, entonces puede conocer la distancia a cada uno de ellos y puede calcular su propia posición en la Tierra mediante la triangulación de la posición de los satélites captados, y nos la presenta en pantalla como Longitud y Latitud.

3.3 Ventana.

Es el tamaño de la abertura del cielo despejado para la recolección de la información usando equipos GPS. La ventana se mide en grados y generalmente es de 150° (figura 3.4).



Imágen 3.4: Esquema de la Ventana en una Observación.

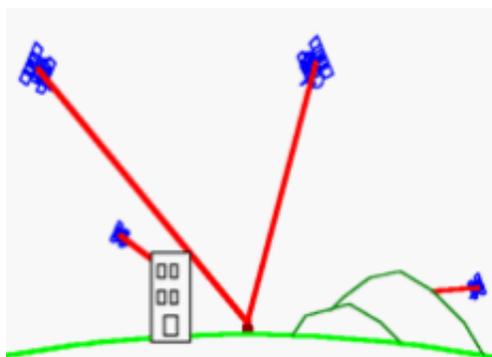
3.4 MÁSCARA

La elevación de la máscara se refiere, a la menor elevación en grados, a la que un receptor puede seguir a un satélite para que no tome información errónea o para evitar los efectos de trayectoria de la onda, atmosféricos y la interferencia indirecta; en otras palabras, es el ángulo mínimo al que se programa el receptor, causada por objetos cercanos. Se fija normalmente a 15° (figura 3.5).



Imágen 3.5: Esquema de la Máscara en una Observación.

La máscara se puede modificar en el post-proceso tantas veces como sea necesario hasta no tener interferencia con obstáculos (árboles, edificios, etc.) y el receptor pueda tener una ventana tal que se pueda conectar con los 4 satélites necesarios para la toma de mediciones (figura 3.6).

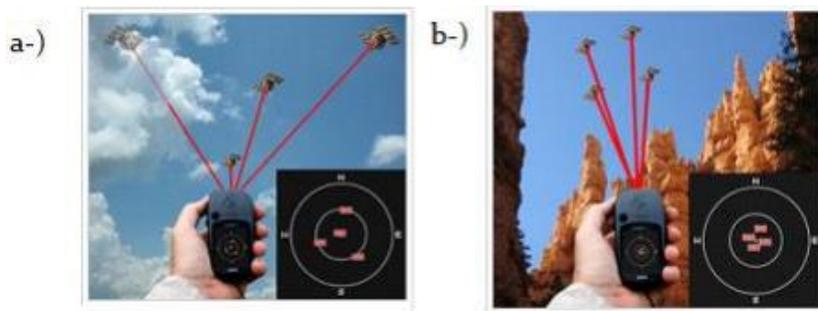


Imágen 3.6: Esquema de máscara no adecuada para la toma de mediciones.

3.5 Análisis de los términos GDOP, PDOP, HDOP, VDOP y TDOP.

En GPS, para efectuar la intersección espacial que nos brinda las coordenadas de la antena del receptor, nos apoyamos en un grupo de satélites que están distribuidos en el espacio, de una forma determinada, en el momento preciso en que se lleva a cabo la medición. Dicha distribución es

lo que llamamos "la configuración" o "geometría de los satélites". Los niveles de precisión en los resultados obtenidos pueden aumentar o disminuir, dependiendo de los ángulos relativos, la separación o la distribución que exista entre los satélites que se empleen para efectuar la medición de la posición. Es así, que, con una mala distribución o geometría satelital, el lugar geométrico de puntos a una determinada distancia del satélite es en realidad una esfera "difusa" (figura 3.7). Como la posición del usuario queda definida por la intersección de dichas esferas ya no será un único punto, sino un cierto volumen.



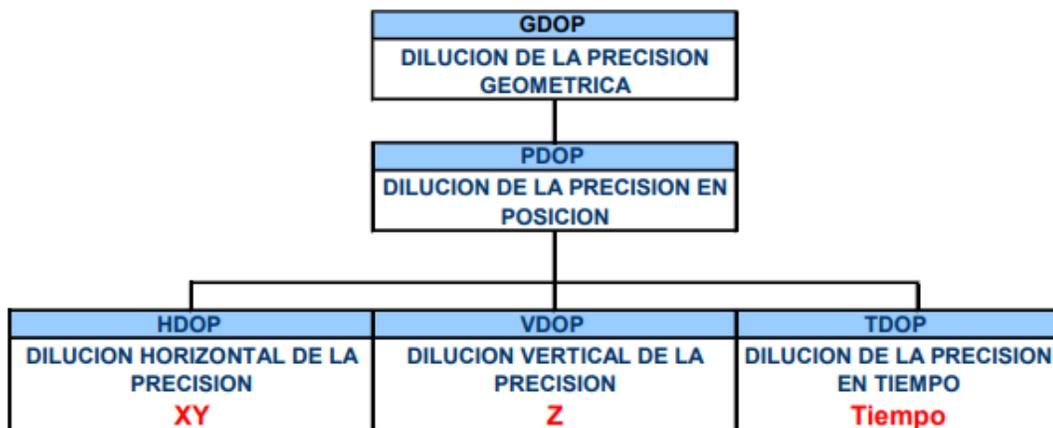
Imágen 3.7: a-) Buena geometría satelital, b-) Mala geometría satelital.

La dilución de precisión (DOP) se emplea en cartografía y describe la precisión del GPS en base a la geometría de los satélites. Cuando la señal DOP es alta, los satélites están muy cerca entre sí con lo que la precisión disminuye y el valor DOP aumenta. Si por el contrario los satélites son distantes, la precisión aumenta y con ello el valor DOP disminuye. Existen diluciones de precisión para el posicionamiento horizontal (HDOP), vertical

(VDOP), el de posicionamiento (PDOP) y el de tiempo (TDOP) con lo que dentro del cada uno de dichos aspectos puede ofrecer un valor distinto. Los obstáculos urbanos y naturales pueden aumentar el DOP de la señal del GPS.

Ante tal situación, el indicador de la precisión que normalmente se maneja es el factor de dilución de la precisión (DOP), que es la contribución puramente geométrica a la incertidumbre de un posicionamiento. En general existe una buena configuración para $DOP < 4$.

El DOP se puede dividir en los siguientes componentes (figura 3.8):



Imágen 3.8: Componentes DOP.

- **GDOP**, suministra una incertidumbre como consecuencia de la posición geométrica de los satélites y de la precisión temporal.
- **PDOP**, incertidumbre en la posición debida únicamente a la posición geométrica de los satélites.

- **HDOP**, suministra información sobre la incertidumbre de la posición horizontal.
- **VDOP**, suministra información sobre la incertidumbre en la posición vertical.
- **TDOP**, suministra información sobre la incertidumbre en el tiempo.

Algunas consideraciones sobre el DOP:

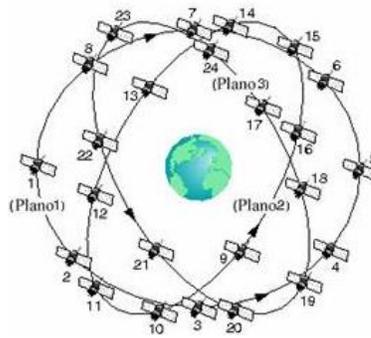
Se utiliza el PDOP para validar las constelaciones, es decir aceptar o no la medición efectuada o a efectuarse en esas condiciones, para lo cual se establecen máximos admisibles o valores de tolerancia. Dado que pueden presentarse situaciones, no muy comunes pero posibles, en que la “visibilidad” de satélites sea muy restringida, habrá que cerciorarse que el PDOP sea aceptable. De lo contrario, se deberá elegir un mejor punto para llevar a cabo la observación.

3.6 Sistema GLONASS (GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM).

El sistema ruso GLONASS fue desarrollado desde principios de los años setenta por el entonces Ministerio de Defensa Soviético, y comenzó a operar oficialmente el 24 de septiembre de 1993 por decreto del presidente de la Federación Rusa, Boris Yeltsin. Actualmente la responsabilidad del sistema es de la Federación Rusa.

DESCRIPCIÓN Y CONSTITUCIÓN DE GLONASS.

Sector de control: La central se encuentra en Moscú y tiene una red de estaciones de seguimiento y control ubicadas en todo el territorio ruso. Las mismas, como en GPS, deben seguir y vigilar el estado de los satélites, determinar efemérides y errores de los relojes. Al igual que en el sistema GPS, existen dos señales de navegación: La señal de navegación de precisión estándar L1 (SP) y la señal de navegación de alta precisión L2 (HP). La primera está disponible para todos los usuarios tanto civiles como militares que deseen emplearla en todo el mundo, y permite obtener la posición horizontal con una precisión de entre 57 y 70 metros (99.7% de probabilidad), la posición vertical con una precisión de 70 metros (99.7% de probabilidad), las componentes del vector velocidad con precisión de 15 cm/s (99.7% de probabilidad) y el tiempo con precisión 1 segundo (99.7% de probabilidad). Estas características pueden ser mejoradas empleando sistemas diferenciales similares a los empleados con GPS. La constelación completa está formada por 21 satélites activos y 3 de reserva situados en tres planos orbitales separados 120° (figura 3.9); esto permite que sobre el 97% de la superficie terrestre se vean al menos 4 satélites de forma continua. Cada plano contendrá 8 satélites, que describen órbitas circulares a 19,100 Km de altura, con una inclinación de 64.8° respecto del Ecuador. El periodo orbital es de 11 horas y 15 minutos.



Imágen 3.9: Constelación Satelital GLONASS.

Tanto GPS como GLONASS comparten una filosofía básica en el sistema: Medida de las pseudo-distancias y la velocidad radial por lo menos de cuatro satélites, junto con la información recibida a través de un mensaje de navegación o datos para determinar la posición de los satélites, lo cual permite plantear un sistema de ecuaciones, cuya solución proporciona los datos requeridos.

El sistema GLONASS se apoya en el sistema de referencia Parametry Zemli 1990 (PZ-90) que es sucesor de SGS-85. El origen, la escala, la orientación y los componentes del sistema cartesiano de este sistema son idénticos a los de WGS-84.

A continuación, se detallan los parámetros del elipsoide global PZ-90 asociado al sistema PZ-90:

Semieje mayor: $a = 6378136 \text{ m}$.

Aplanamiento: $f = 1/298.257839303$.

Velocidad angular de rotación terrestre: $= 7.292115 \times 10^{-5} \text{ rad s}^{-1}$.

3.7 Sistema GALILEO (SISTEMA EUROPEO DE NAVEGACIÓN).

La componente principal del sistema es una constelación de satélites con una cobertura global. Dirigido por la Unión Europea, la Agencia Espacial Europea y un grupo de inversionistas privados, la fase de definición del sistema empezó en 1999. El proyecto Galileo, que garantizará la autonomía europea en materia de posicionamiento satelital, dará a las empresas de la región grandes oportunidades comerciales e incluirá el despliegue de una constelación de 30 satélites de navegación bajo control civil y cobertura mundial.

Líneas principales de desarrollo del programa GALILEO son:

- Es independiente de los sistemas GPS y GLONASS, pero complementario e interoperable.
- Está abierto a la contribución de capital privado internacional.
- Explotará las nuevas capacidades en un sistema civil, permitiendo el desarrollo de nuevas aplicaciones, facilitando la robustez de GNSS y poniendo remedio a ciertas deficiencias que existen en la actualidad.
- Tendrá una cobertura global para proveer un mercado mundial para el sistema y sus aplicaciones. Incluirá un servicio de acceso restringido. El sistema permanecerá bajo el control de autoridades civiles.

LA CONSTELACIÓN GALILEO.

La constelación del sistema Galileo estará formada por 30 satélites (27 en operación y 3 de repuesto), ubicados a 23,600 km de altura sobre la superficie de la Tierra, en 3 planos orbitales, con 56° de inclinación respecto del plano ecuatorial, el tiempo orbital es de 14 horas (figura 3.10).

Técnicamente, GALILEO está diseñado para integrar tanto NAVSTAR y GLONASS, así como para convertirse en una solución completa de operación independiente.

Con la combinación de los tres sistemas, se podrá disponer de un total aproximado de 80 satélites, que potencialmente podrían estar disponibles para un único receptor GNSS, con el que el usuario podrá calcular su posición utilizando elementos físicos –satélites- y de cálculo de las tres distintas constelaciones.



Imagen 3.10: Constelación Satelital GALILEO

SERVICIOS DE GALILEO.

Su diseño proporcionará 3 niveles distintos de servicios:

- **Nivel 1:** Un sistema de acceso abierto similar a GPS estándar actual, principalmente dedicado al mercado masivo.
- **Nivel 2:** Un servicio de acceso restringido dedicado para aplicaciones comerciales y profesionales que requieren un nivel de precisión más elevado.
- **Nivel 3:** Un servicio de acceso restringido, con exigencias críticas de seguridad, que no pueden admitir interrupción o perturbación (caso de aviación civil).

GALILEO revolucionará la administración del tráfico aéreo, mejorará la calidad y seguridad de este medio de transporte en regiones del mundo donde los sistemas existentes son inadecuados, incrementará la precisión y control permitiendo la optimización del uso del espacio aéreo. Además, los conductores de camiones y autos podrán evitar congestionamientos de tráfico al reducir sus tiempos de viaje, así como también reducir el consumo de combustible y emisión de contaminantes.

Al igual que el GPS, Galileo estableció un marco de referencia terrestre dedicado (GTRF) como una realización independiente del sistema de referencia terrestre internacional ITRS basado en las coordenadas estimadas para cada uno de los sitios de la Estación de sensores Galileo (GSS). De

acuerdo con los requisitos de Galileo, las diferencias tridimensionales de la posición en comparación con el ITRF más reciente no deben exceder los 3 cm (2 sigma).

3.8 BEIDOU

El sistema de navegación por satélite BeiDou es un sistema de navegación por satélite chino. Se compone de dos constelaciones de satélites separadas.

El primer sistema BeiDou, oficialmente llamado Sistema Experimental de Navegación por Satélite BeiDou y también conocido como BeiDou-1, consta de tres satélites que desde el 2000 han ofrecido cobertura limitada y servicios de navegación, principalmente para usuarios en China y regiones vecinas. BeiDou-1 fue dado de baja a finales de 2012.

La segunda generación del sistema, llamada oficialmente sistema de navegación por satélite BeiDou (BDS) y también conocida como COMPASS o BeiDou-2, comenzó a funcionar en China en diciembre de 2011 con una constelación parcial de 10 satélites en órbita. Desde diciembre de 2012, ha estado ofreciendo servicios a clientes en la región de Asia-Pacífico.

En 2015, China comenzó la construcción del sistema BeiDou de tercera generación (BeiDou-3) para la constelación de cobertura global. El primer

satélite BDS-3 se lanzó el 30 de marzo de 2015. A partir de octubre de 2018, se lanzaron quince satélites BDS-3. BeiDou-3 eventualmente tendrá 35 satélites y se espera que brinde servicios globales una vez que finalice en 2020. Cuando se complete, BeiDou proporcionará un sistema alternativo de navegación por satélite global al Sistema de Posicionamiento Global (GPS) de los Estados Unidos, el GLONASS ruso o el sistema europeo Galileo y se espera que sea más precisos que estos. Se afirmó en 2016 que BeiDou-3 alcanzará una precisión milimétrica (con posprocesamiento).

Según China Daily, en 2015, quince años después de que se lanzara el sistema satelital, estaba generando una facturación de \$ 31.5 mil millones por año para grandes compañías como China Aerospace Science and Industry Corp, AutoNavi Holdings Ltd y China North Industries Group Corp. El 27 de diciembre de 2018, el sistema de navegación por satélite BeiDou comenzó a proporcionar servicios globales. "Beidou" es el nombre chino para la constelación de la Osa Mayor.

El elipsoide de referencia de este sistema de posicionamiento es uno específico el: CGCS2000 cuyas características son las siguientes:

Semieje mayor: 6,378,137.0 metros.

Aplanamiento: $f = 1/298.257222101$.

Rotación de la tierra: $7.292115 \times 10^{-5} \text{ rad s}^{-1}$

Constante gravitacional $3.9860044 \times 10^{14} \text{ m}^2 / \text{s}^{-2}$

3.9 SBAS

Abreviatura inglesa de Satellite Based Augmentation System (Sistema de Aumentación Basado en Satélites), es un sistema de corrección de las señales que los Sistemas Globales de Navegación por Satélite (GNSS) transmiten al receptor GPS del usuario. Los sistemas SBAS mejoran el posicionamiento horizontal y vertical del receptor y dan información sobre la calidad de las señales. Aunque inicialmente fue desarrollado para dar una precisión mayor a la navegación aérea, cada vez se está generalizando más su uso en otro tipo de actividades que requieren de un uso sensible de la señal GPS.

Actualmente están desarrollados o en fase de implementación los siguientes sistemas SBAS:

- WAAS (Wide Area Augmentation System), gestionado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos.
- EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service), administrado por la Agencia Espacial Europea.
- WAGE (Wide Area GPS Enhancement), que transmite más precisión en los datos de efemérides y reloj de los satélites destinado a uso militar.

- MSAS (Multi-Functional Satellite Augmentation System), operado por Japón.
- StarFire, gestionado por la empresa John Deere.
- QZSS (Quasi-Zenith Satellite System), propuesto por Japón.
- GAGAN (GPS and GEO Augmented Navigation), planeado por la India.

Funcionamiento de SBAS

La arquitectura básica de todos los sistemas SBAS está conformada por una red de estaciones terrestres de referencia distribuidas por una amplia zona geográfica (países o continentes enteros) que supervisan las constelaciones de satélites de GNSS. Estas estaciones retransmiten los datos a una instalación de procesamiento central que evalúa la validez de las señales y calcula correcciones a los datos de efemérides y reloj radiodifundidos de cada satélite a la vista. Para cada satélite GPS o GLONASS vigilado, el SBAS estima los errores en los parámetros, y a su vez estas correcciones son transmitidas al avión por medio de satélites geoestacionarios. Luego el receptor de a bordo ajusta la información recibida directamente de los satélites GPS con las correcciones recibidas de los satélites geoestacionarios, para así navegar con más seguridad.

CAPITULO IV

TECNICAS DE MEDICION SATELITAL

4.1 Técnica de Medición satelital

En toda la medición con GPS se deben seguir diferentes etapas, en el cual es fundamental para los datos crudos obtenidos, el tiempo que durará la realización de la medición en campo, la seguridad y la veracidad de los datos finales (post proceso).

Estas etapas mencionadas son:

- Reconocimiento.
- Monumentación
- Medición.
- Trabajo de oficina.

RECONOCIMIENTO:

En toda medición topográfica se debe de realizar este procedimiento ya que es preciso conocer las características y condiciones del terreno en donde se ubicará el vértice geodésico o el mojón.

En esta etapa debemos verificar si las condiciones cumplen para una medición satelital, si no cumple se procederá a mover el vértice o mojón o se realizará una medición combinada con estación total y GPS.

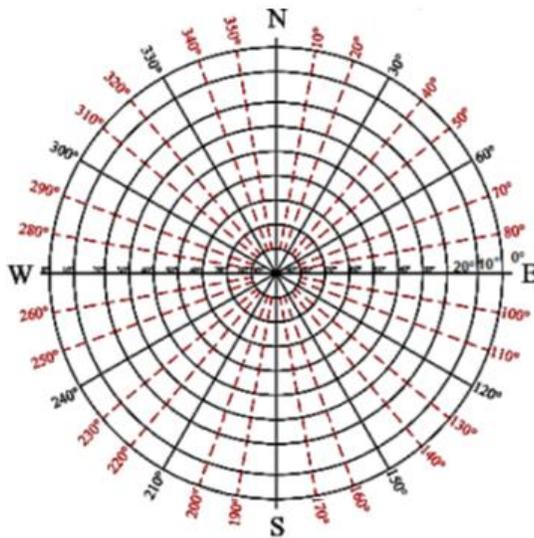
Las condiciones a cumplir para una medición de posicionamiento satelital son las siguientes:

- I. Se debe verificar la condición del terreno o sitios adecuados para el establecimiento de los monumentos permanentes.
- II. la máscara o campo de rastreo satelital
- III. Facilidad de ubicación de las referencias del vértice o mojón.

De todo esto se debe hacer un informe en el cual estará indicado verificar las condiciones del terreno o sitios adecuados para el establecimiento de los monumentos permanentes.

Se debe observar todos los sitios cuyas propiedades físicas y mecánicas del suelo, no sean adecuadas para soportar el peso de los monumentos de concreto reforzado y garantizar la estabilidad, además la duración del monumento donde no cambie las condiciones del terreno ya sea por construcción de edificaciones o carreteras, por erosión y el clima, la máscara o campo de rastreo satelital

En esta condición se debe verificar las obstrucciones cerca del mojón o vértice que se quiere medir, en donde se utiliza el diagrama de obstrucción,



Imágen 4.1: Diagrama obstrucción.

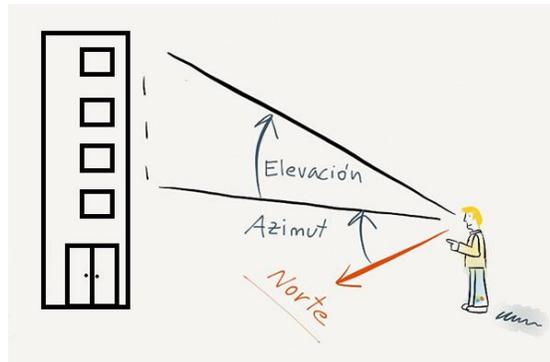
Este diagrama y cuadro se completa mediante la medición del rango de azimut y el Angulo vertical.

Procedimiento, (Este procedimiento se realiza en la ubicación del monumento).

Se identifica el norte magnético con una brújula, luego girar en dirección de las agujas del reloj hacia el inicio y el final del obstáculo o edificación, esto se coloca en el diagrama en donde se achura o identifica el rango del objeto, luego se calcula el Angulo vertical con un inclinómetro, el observador debe ubicar el inclinómetro a nivel del ojo y luego inclinar el instrumento de medición hacia lo más alto del obstáculo o edificación, este Angulo no debe de ser mayor que 20°, en el cual en el diagrama son las circunferencias,

luego medir la distancia del monumento al objeto, y colocar una descripción.

Facilidad de ubicación de las referencias del vértice o mojón.



Imágen 4.2: Obstáculos existentes.

Al realizar el reconocimiento se debe de hacer un croquis General de la zona, además una descripción de la posición local, también verificar las condiciones básicas disponibles para las actividades de la monumentación y la medición con GPS.

MONUMENTACIÓN:

Antes de monumentar se debe de planificar las compras de materiales y equipo que se debe de llevar para la realización del monumento, en el cual el mojón debe de estar prediseñado para su duración en el lugar.

Procedimiento.

Llevar todos los materiales e instrumento al lugar.

MEDICIÓN.

La medición depende de la importancia del mojón que se quiere colocar, puesto que, según la precisión del trabajo, así es la técnica que se va a realizar.

Estas técnicas son:

- Estática.
- Estática Rápida.
- Real Kinematic Time (RTK).

4.2 TÉCNICA DE MEDICIÓN ESTÁTICA

Este método es uno de los clásicos para medir grandes distancias y el que ofrece mayor precisión : $5\text{mm}\pm 1\text{ppm}$ en la longitud de la línea base, con observaciones de 1 o más horas, en el cual el tiempo de observación depende de la longitud de la línea base y también depende de otros factores ya sea estos, instrumentos de una o de dos frecuencia, precisión requerida e intervalo de toma de datos.

El método se basa en la geometría de la observación, el que un receptor se estaciona en una coordenada conocida, mientras los demás se mueven alrededor.

Las principales aplicaciones son.

- ✓ Redes Geodésicas
- ✓ Confección de redes fundamentales en las cuales se vayan a apoyar trabajos de cartografía, fotogrametría o proyectos de ingeniería.
- ✓ Obtención de puntos de apoyo fotogramétrico
- ✓ Control geométrico de cartografía
- ✓ Control de deformaciones en superficie y estructuras.
- ✓ En general, todo tipo de aplicaciones en donde se necesite la máxima precisión.

Tiempo de observación y precisiones

Longitud Línea base	Numero de satélites	PDOP	Tiempo de observación	Precisión
20-50km	≥4	≤6	2-3hr	5mm+1ppm
50-100km	≥4	≤6	Min. 3hr	5mm+1ppm
>100km	≥4	≤6	Min. 4hr	5mm+1ppm

4.3 MÉTODO DE MEDICIÓN ESTÁTICO RÁPIDO

El método estático rápido es equivalente al método anterior ya que se depende de bases situadas en coordenadas conocidas, la diferencia de este

es que solo se puede hacer con equipo de dobles frecuencia y que posee código P, y se utilizar dos bases de referencias con coordenadas conocidas.

En este método es recomendable que la línea base midan menos de 20km, también en la configuración del GPS se disminuyen los intervalos de medida que se usan normalmente en el estático (de 10, 15, 20 o 30 segundos pasan a 1 o 3 segundos).

Ventajas de este método: sencillo, rápido, no requiere mantener el contacto con los satélites entre estaciones, la precisión final está en $10\text{mm} \pm 1\text{ppm}$, haciéndolo ideal para redes o levantamiento en pequeñas distancias.

Pasos para levantamiento con el método estático rápido.

1. Estacionar receptores de referencia en la estación base de coordenadas conocidas
2. Instalar una nueva estación base con otro receptor.
3. Usar las estaciones bases como estaciones de referencias.
4. Con un tercer receptor estacionar en los diferentes puntos que se quiere levantar.
5. Cuando se llega a los límites de distancias para este método se cambian los receptores base y se coloca en puntos levantados, para establecer nuevas referencias.

6. Seguir con el levantamiento.

Tiempo de observación en estático rápido.

Longitud lineal	Numero de Satélites	PDOP	Tiempo observación	Precisión
0-5km	≥ 4	≤ 5	5-10 min	5-10mm \pm 1ppm
5-10km	≥ 4	≤ 5	10-15min	5-10mm \pm 1ppm
10-20km	≥ 4	≤ 5	10-30min	5-10mm \pm 1ppm

4.4 TÉCNICA DE MEDICIÓN REAL KINEMATIC TIME (RTK).

Este método ha agarrado gran auge en la actualidad ya que ofrece mayor eficacia versatilidad, precisión aceptable y rendimiento para todo tipo de trabajo topográfico.

El RTK no es un método de posicionamiento por satélite, sino una forma de obtener resultados una vez realizado con un software post-proceso, previa inserción de los datos de observación necesarios, ya sea en campo o en oficina, ahora bien, este cálculo puede ser realizado en forma inmediata a la recepción de las observaciones y ser efectuado por la unidad de control obteniendo las coordenadas en el instante. Para ello, se incorporan los datos necesarios de los sistemas de referencia al software, post proceso. Para obtener coordenadas con los sistemas de referencias locales configurados, y ya corregidos por el cálculo de ambigüedades o errores en el mismo instante.

Esto es una gran ventaja ya que el ahorro del tiempo que se invierte en insertar, tratar y procesar los datos, se suprime al obtener los resultados al instante y a la vez permite edición de datos de un levantamiento en campo, replanteo o todo tipo de labores en los cuales sea necesario el conocimiento de las coordenadas de los puntos en tiempo real.

En nuestro caso con este método podemos configurar el equipo con los sistemas de proyección cartográficos llamados “Cónico conformal de Lambert SIRGAS-ES2007” para obtener las coordenadas proyectadas, (x,y)

Con este método se utiliza dos receptores uno que es base que estará situado en un punto con coordenadas conocidas y otro que estará en movimiento.

Los equipos RTK son de doble frecuencia, pero también se puede utilizar receptores que únicamente tienen una frecuencia.

Tiempo de observación con el método RTK. Este tiempo depende de la potencia del radio de los receptores.

Longitud lineal	Numero de Satélites	de PDOP	Tiempo observación	Precisión
≤10 km	≥4	≤5	1-5 seg	1 a 2 cm + 2 ppm

TRABAJO DE OFICINA.

En esta etapa se hacen las correcciones y modificaciones del proceso de puntos si es que lo requiere, además los informes formales de los sitios en donde se ubicaron los vértices o mojones, mencionando la técnica utilizada, la precisión procesada, presentación de croquis o planos si es necesario.

CAPITULO V

RECOPIACIÓN DE DATOS ALTIMÉTRICOS ELIPSOIDALES

5.1 Selección de puntos estratégicos, para el área metropolitana de San Salvador.

Los bancos de marca se seleccionaron mediante la distribución en el Área Metropolitana de San Salvador, por lo cual la medida mínima y máxima entre punto y bases que definimos es de 100m a 10km radiales, puesto que el método que se utilizara es el estático rápido, y para obtener precisiones de 5-10mm±1ppm en un tiempo de observación de 20 a 30 minutos.

Además, que la mayoría cumplan con las condiciones mínimas para la medición con el sistema de posicionamiento global (GPS).

Entre las condiciones tenemos:

- Que los BM tengan una buena mascara para captación de señal satelital; estos no deben de estar cerca de árboles, edificios o alguna edificación que no permita la buena señal.
- No deben estar en lugares peligroso, en donde se expongan la vida y los aparatos, ya sea en áreas en conflicto o muy cerca del tráfico vehicular.

Para los BM que no cumplían la especificación de medición con GPS, se optará por moverlos de sitio con nivel fijo hacia un área en donde los requisitos para la medición con GPS son aceptables.

Todos los Bancos de Marca utilizados para esta investigación fueron proporcionados por el Centro Nacional de Registro (CNR) para el estudio de la ondulación Geoidal.

Obtuvimos 40 puntos en los cuales 11 están extraviados o en zonas en conflicto y 29 encontrados como se muestran en la figura 5.1. Elegimos 4 puntos estratégico para colocar nuestras bases.

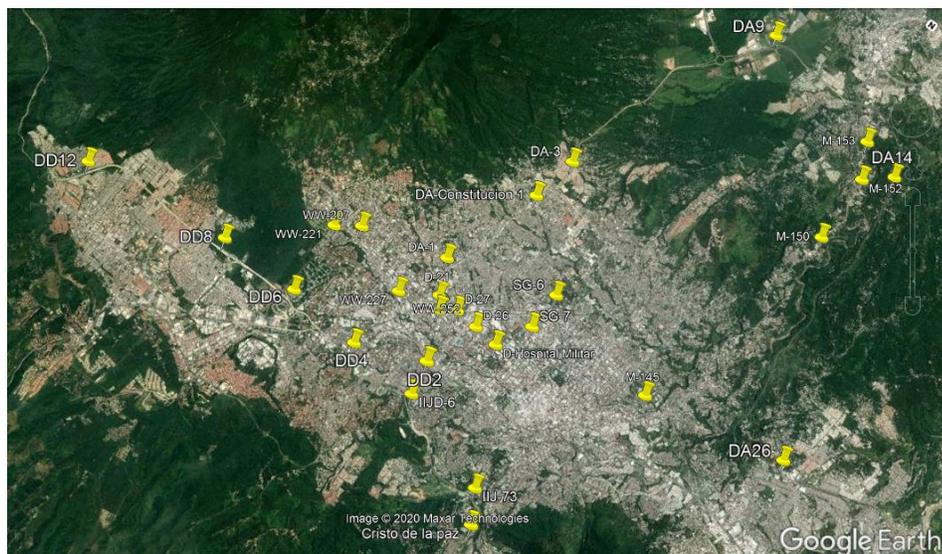


Imagen 5.1: Bancos de marca

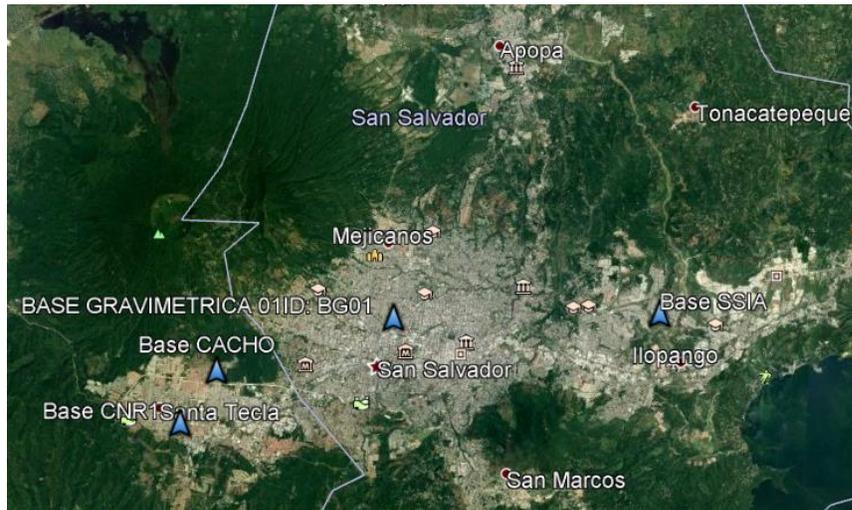
Los Bancos de marca sometidos a estudios se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 5.1: Bancos de Marca con su respectiva elevación SNMM.

Banco de Marca	Elevación	Banco de Marca	Elevación
A-78	761.8195	D-hospital Militar	689.1889
D-21	732.8293	IJJ-73	675.8012
D-26	706.8284	IJJ-Cristi de la paz	708.8065
D-27	724.4923	IJD-6	754.8517
DA-03	740.5275	M-145	615.4647
DA-1	756.0656	M-150	526.9428
DA-14	492.4477	M-152	475.4055
DA-26	638.646	M-153	459.2594
DA-9	490.8074	SG-6	701.688
DA-constitución	753.9293	SG-7	676.5205
DD12	924.548	ww-207	825.1657
DD2	718.4437	ww-221	854.4482
DD4	768.0885	ww-227	756.4866
DD6	828.1851	ww-252	723.61
DD8	891.728		

Los puntos seleccionados para colocación de las bases serán las siguientes:

- CNR1, ubicado en Centro Nacional de Registro, Sata tecla.
- CACHO, ubicado en Merliot, Santa Tecla.
- BG01, ubicado en Centro Nacional de Registro, San Salvador.
- SSIA, ubicado en Aeropuerto Internacional de Ilopango.



Imágen 5.2: Bases seleccionadas

5.2 Metodología de recopilación de datos altimétricos.

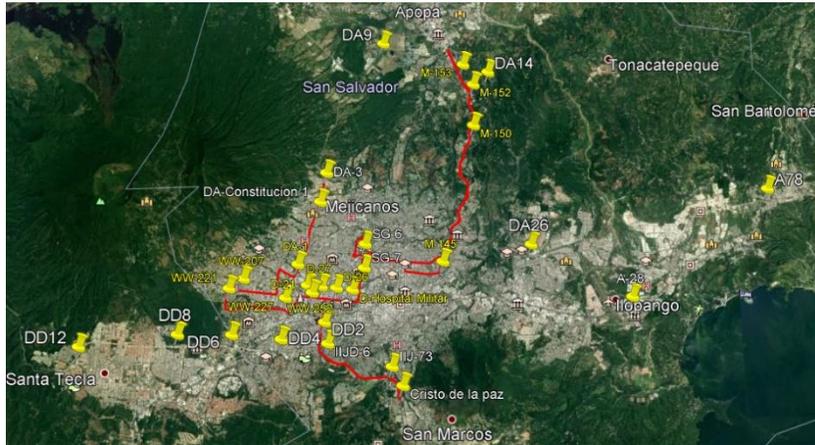
RECONOCIMIENTO.

Se diseñó un plan de reconocimiento en el cual se basaba en la ruta de la búsqueda de los puntos, ayudando a que el trabajo sea lo más óptimo en tiempo, dinero y seguridad.

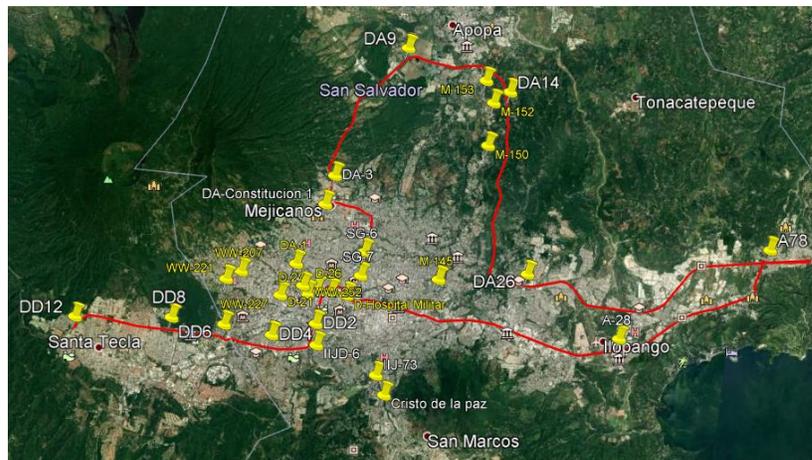
Instrumentos que se utilizaron en el reconocimiento son:

- Celular con la aplicación Google Earth o GPS manual para la búsqueda de los bancos de marca.
- Aerosol o pintura para señalización de los puntos encontrados.

El reconocimiento se realizó en dos días, y el horario de búsqueda fue de 7:00am - 6:00 pm. Saliendo de la Universidad de El Salvador.



Imágen 5.3: Ruta 1 Reconocimiento.



Imágen 5.4: Ruta 2 Reconocimiento

En el reconocimiento de cada BM se debe observar si aún se encuentra disponible; debido a que en muchas ocasiones éstos son dañados, arrancados o enterrados; además se debe observar los aspectos importantes antes mencionados, tales como, la máscara, accesibilidad, seguridad, etc. Una vez identificado el Banco de Marca éste se marca o se deja una

señalización visible para su fácil localización el día que se realice la medición.

Una vez reconocido todos los Bancos de Marca se podrá establecer una ruta adecuada para su medición, facilitando así este proceso.

MEDICIÓN.

El método que se realizó es el estático rápido, ya que este tiene la precisión necesaria para obtener los datos de esta investigación.

Los equipos GPS que se utilizaron como Rover son:



Imágen 5.5: GPS Ashtech modelo Promark 2

GPS marca **Ashtech modelo Promark 2** tiene la modalidad de medición estático y cinemático. En la modalidad de medición, el sistema establece el control de puntos nuevos o existentes en forma precisa y productiva. A diferencia de los equipos de medición ópticos, el GPS no requiere línea visual entre los puntos de medición, logrando así aumentar significativamente la productividad, ya que los tramos transversales pueden ser más largos y a menudo punto a punto ideal para las necesidades de puntos de control.

Especificaciones del aparato:

Rastreo de Satélites

- 12 canales independientes.
- 10 código L1 C/A y portadora de longitud de onda completa.
- Rastreo Satelital WASS / EGNOS.

Funcionamiento de Medición Estática(rms)

- Horizontal: 5 milímetros + 1ppm
- Vertical: 10 milímetros +2 ppm
- Acimut <1m arcosegundos.
- Tiempo de Observación: de 20 a 60 minutos dependiendo de la distancia entre los receptores.

Los equipos GPS que se utilizaron como Base son:

En las bases Cacho y BG01: Trimble R8s



Imágen 5.6: GPS Trimble R8s

Trimble R8s es un receptor GNSS con la capacidad de rastrear las diferentes señales de GPS, GLONASS, Galileo y BeiDou. Además, está preparado para recibir señales modernizadas lo cual lo convierte en un receptor GNSS apto para medir en situaciones complejas. Todo esto es soportado en 440 canales que distribuyen convenientemente las señales al receptor para desarrollar posicionamiento preciso para una variedad de situaciones.

Precisiones en Medición GNSS estática:

Estática de alta precisión:

- Horizontal 3 mm + 0,1 ppm RMS
- Vertical 3,5 mm + 0,4 ppm RMS

Estática y Estática Rápida

- Horizontal 3 mm + 0,5 ppm RMS
- Vertical 5 mm + 0,5 ppm RMS

En la base SSIA: Trimble Choke Ring



Imágen 5.7: Antena Trimble Choke Ring

La antena geodésica Trimble Choke Ring ha sido adoptado extensamente por la comunidad científica, utiliza el diseño de Jet Propulsion Labs (JPL), para que pueda rastrear todas las constelaciones GNSS públicas existentes y propuestas.

- Bandas de señales de posicionamiento compatibles:
 - L1/L2/L5/G1/G2/G3/E1/ E5ab/E6/B1/B2/B3
 - Bandas de señales SBAS compatibles: WAAS, EGNOS, QZSS, Gagan, MSAS, OmniSTAR, RTX
- Precisión del centro de fase: 2mm o más
- Dimensiones: 38 cm de diámetro y 14 cm de altura
- Peso: 4,3 kg
- Características LNA: Filtro avanzado para reducir la interferencia por parte de transmisores de alta potencia fuera de banda

En la base CNR1: Topcon GB1000



Imágen 5.8: RECEPTOR: Topcon GB1000 y Antena Choke Ring

Topcon GB1000: Receptor GPS+, capaz de recibir señales satélites GPS y GLONASS en ambas frecuencias L1+L2, por sus 40 canales independientes.

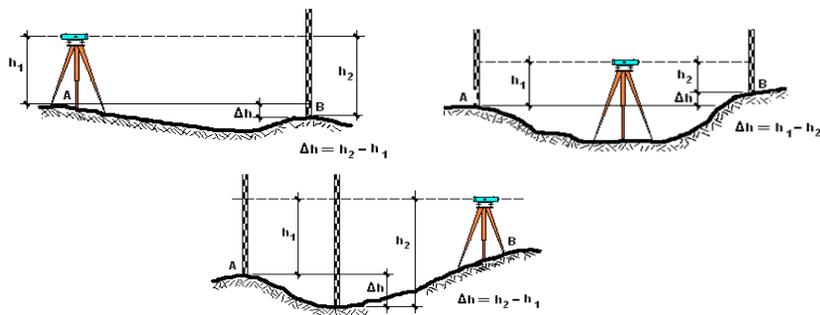
Algoritmo para captar la baja señal que permite tomar datos en condiciones bajo árboles donde otros no llegan; la supresión de interferencias en banda L, 20 canales L1y 20 canales L2. Preparado para sistemas de aumentación como EGNOS y WAAS.

Precisión

Estático y estático rápido

- Horizontal 3mm+0.5ppm
- Vertical 5mm+0.5ppm

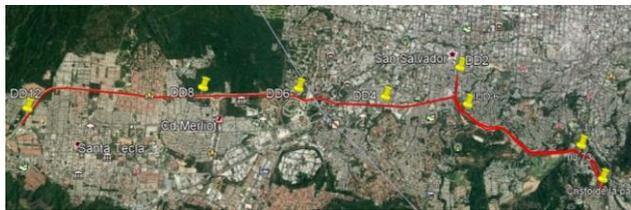
Otro de los instrumentos indispensable que se utilizó es el nivel fijo, lo cual se usó para mover puntos, en donde el área no es óptima para realizar mediciones con GPS. En la siguiente imagen se observa algunos procesos que se realizaron para mover puntos.



Imágen 5.9: Método para el traslado del banco de marca.

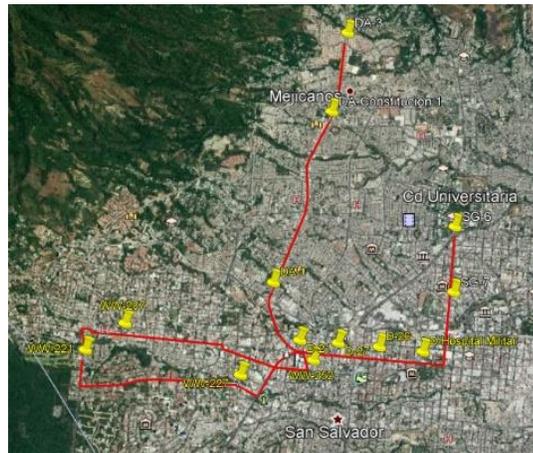
En la medición e implementación del método estático rápido, se elaboró las rutas para la recolección de datos de los puntos estudiados.

Ruta 1



Imágen 5.10: Ruta 1 para medición.

Ruta 2



Imágen 5.11: Ruta 2 para medición.

Ruta 3



Imágen 5.12: Ruta 3 para medición.

Trabajo en campo

Antes del levantamiento de los bancos de marca a estudio, se colocó la base en el punto CACHO, y se utilizó la base fija CNR1, para su triangulación.

El promedio de tiempo de observación fue de 25 minutos, utilizando un rango entre 20 y 30 minutos por cada banco de marca.

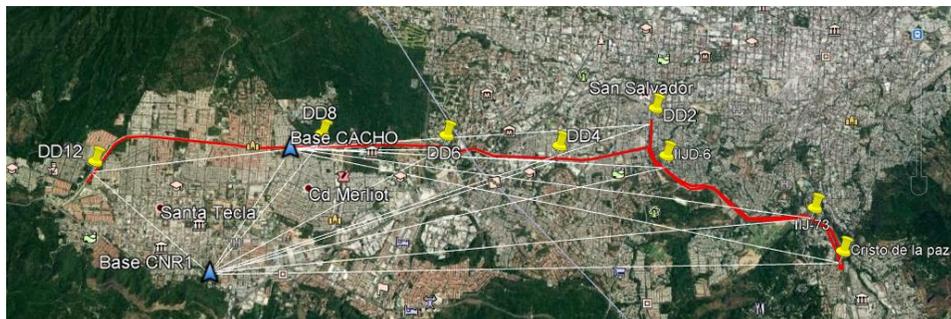
BASE CACHO (Trimble R8s)

BASE CNR1 (Topcon GB1000)



Imágen 5.13: Base CACHO y CNR1

En el primer día, se levantaron los puntos DD12, DD8, DD6, DD4, DD2, IIJD-6, IIJ-73 y D-Cristo de la Paz:



Imágen 5.14: Ruta 1-Medición de Bancos de marca

En el cual los puntos DD8 y DD2 se movieron de lugar a un punto en donde cumplieran lo necesario para la medición con GPS.

DD8



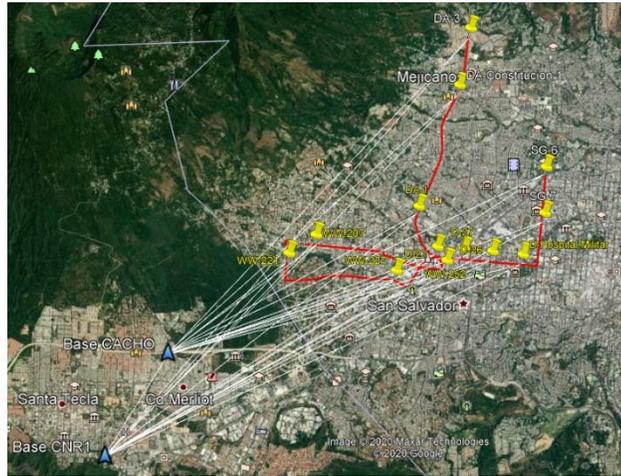
Imágen 5.15: Traslado del banco de marca DD8.

DD2



Imágen 5.16: Traslado del banco de marca DD2.

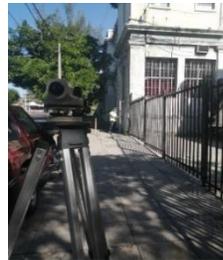
El segundo día, se colocó las bases en los puntos CACHO, CNR1, para triangulación, se levantaron los puntos SG-6, SG-7, D-hospital Militar, D-26, D-27, D-21, WW-252, WW-207, WW-221, WW-227, DA-1, DA-Constitucion1, DA-3:



Imágen 5.17: Ruta 2- Medición de Bancos de marca

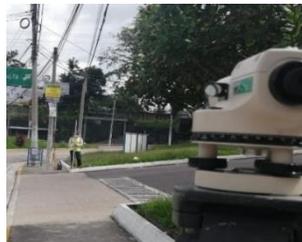
En el cual los puntos D-hospital Militar y DA-1 se movieron de lugar a un punto en donde cumplían los necesario para la medición con GPS.

D-Hospital Militar



Imágen 5.18: Traslado del banco de marca D-hospital Militar

DA-1



Imágen 5.19: Traslado del banco de marca DA-1

El tercer día se utilizó las bases Gravimétrica 01(BG01), la base fija SSIA, para su triangulación.

BASE BG01(Trimble R8s)

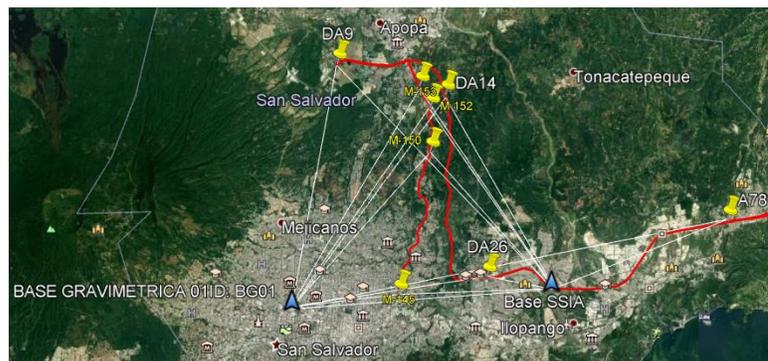


BASE SSIA (Trimble Choke Ring)



Imágen 5.20: : Base BG01 y SSIA

Este día se hizo el recorrido de la Ruta tres, se levantó los puntos M-145, M-150, M-152, M-153, DA-9, DA-14, DA-26, A-78.



Imágen 5.21: Ruta 3- Medición de Bancos de marca

En el cual el punto DA-9 se movió a un punto en donde cumplía con lo necesario para medir con GPS.



Imágen 5.22: Traslado del banco de marca DA-9

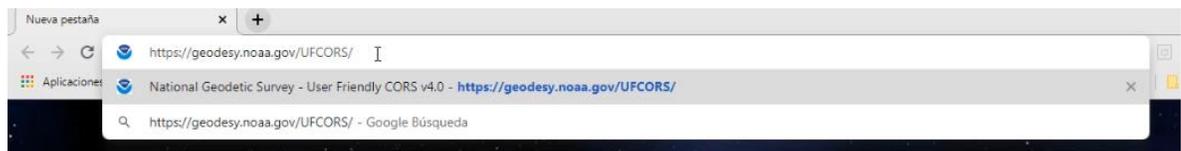
5.3 Procesamiento de datos.

El trabajo de oficina se inició bajando datos crudos de los GPS.

Base: **SSIA**

Aparato: **Trimble Modelo: ALLOY**

Los datos crudos se bajaron de la página web que se presenta.



Imágen 5.23: Bajado de datos crudos SSiA link.

En el sitio Web de CORS hacemos clic en el espacio “Start Date”, en el cual se desplegará una pestaña, se seleccionará el día en el que se realizó el levantamiento geodésico.



Imágen 5.24: Bajado de datos crudos SSiA

En “duration in hour(s)” se selecciona las horas en el cual realizo el levantamiento. En “Site iD” se selecciona el nombre de la base “SSiA”



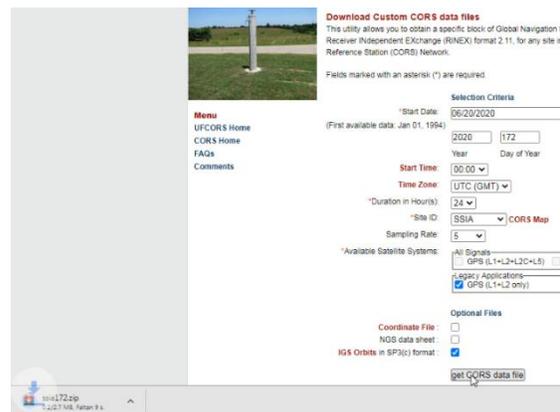
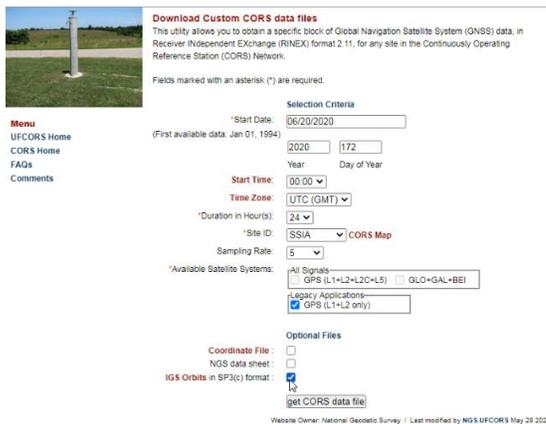
Imágen 5.25: Bajado de datos crudos SSiA

En “Sampling Rate” se selecciona el tiempo, en el cual se está guardando los datos. En “Available Satellite Systems” se selecciona los satélites que se quiere tomar en nuestro caso “GPS (L1 y L2 only)”



Imágen 5.26: Bajado de datos crudos SSiA

Luego se selecciona el formato de los archivos a descargar y dar clic en “get cors data file” para su descargar.



Imágen 5.27: Bajado de datos crudos SSiA

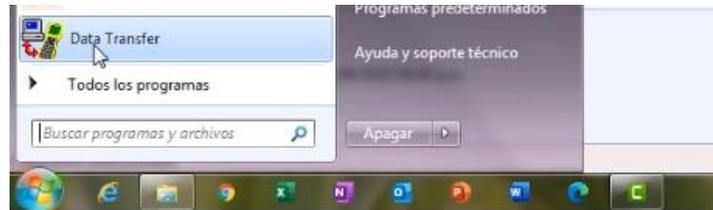
Base: **BG0, CACHO**

Aparato: **Trimble R8**

Para el bajado de datos del trimble R8 se realizó el siguiente procedimiento.

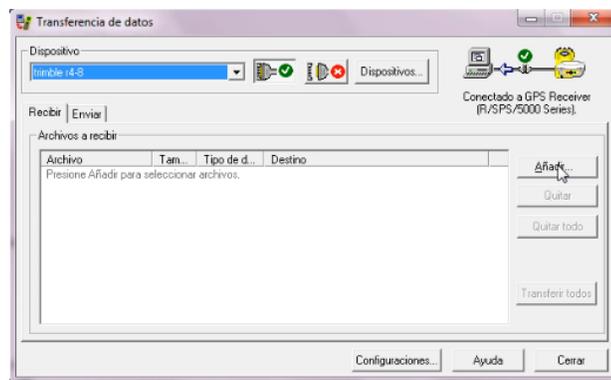
Después de conectar el colector a la computadora por medio de puestos USB

Se utilizo el programa “Data Transfer”.



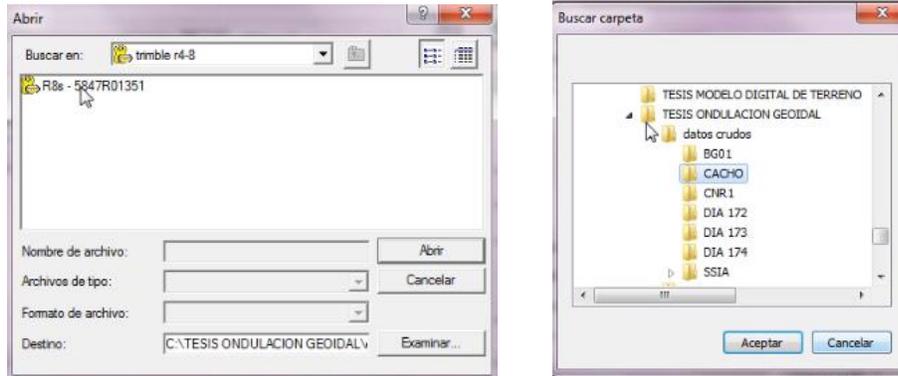
Imágen 5.28: Programa Data transfer.

Al abrir el programa, este iniciara a reconocer el colector luego que se reconoció se le dará clic en añadir.



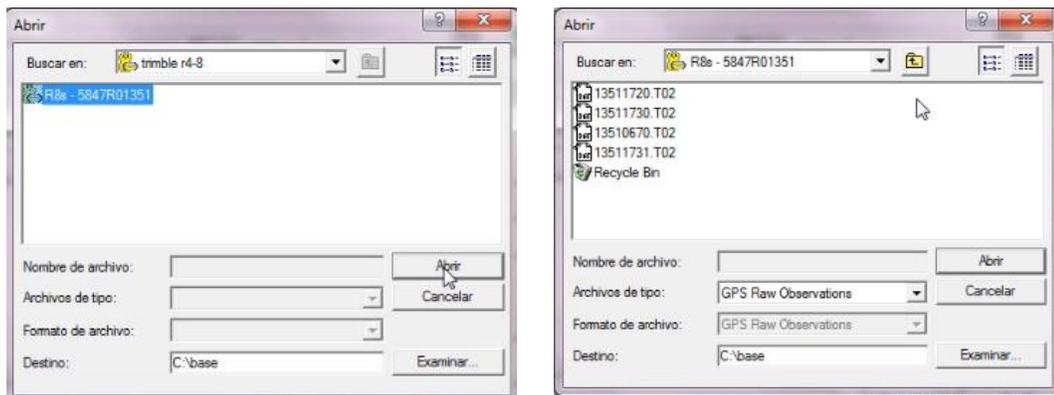
Imágen 5.29: Transferencia de datos.

Se abrirá la siguiente pestaña, Se selecciona examinar y se busca la carpeta en el cual se descargarán los archivos.



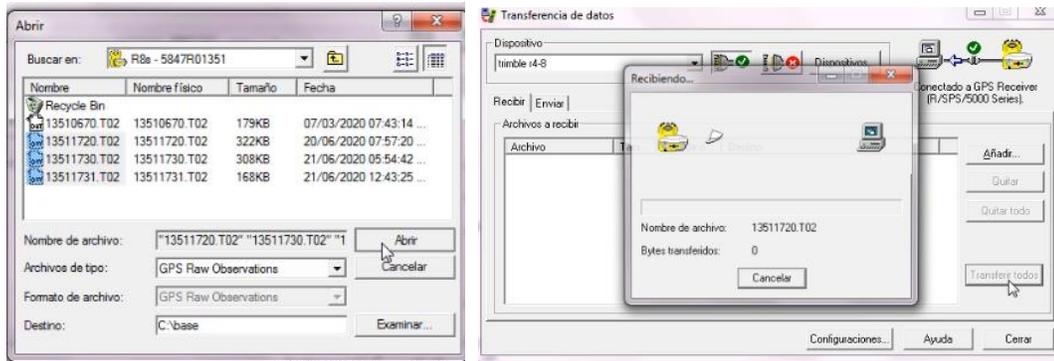
Imágen 5.30: Descargas de datos crudos.

Luego se selecciona el colector y se le da clic a abrir, se mostrará los archivos crudos del GPS Trimble r8



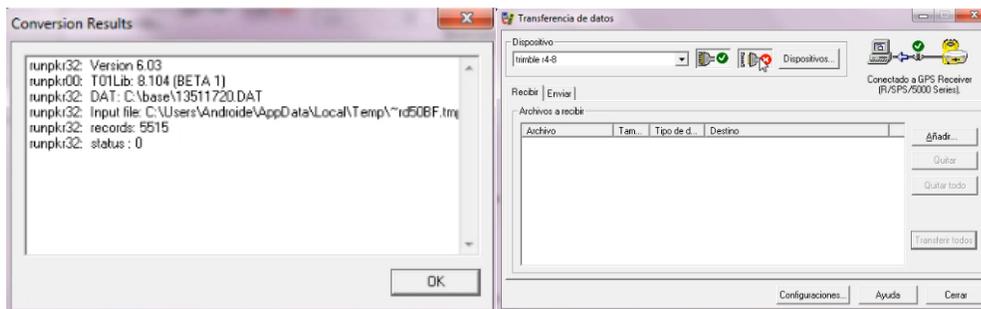
Imágen 5.31: Datos crudos

Se seleccionan los datos crudos de medición que se quieren descargar y se da clic en abrir y en transferir todo.



Imágen 5.32: Traserferencia de datos crudos

Después de haber cargado completamente, se da clic en ok, finalizar conexión y cerrar.



Imágen 5.33: Traserferencia de datos crudos

Bajado de datos de puntos a evaluar (Rover)

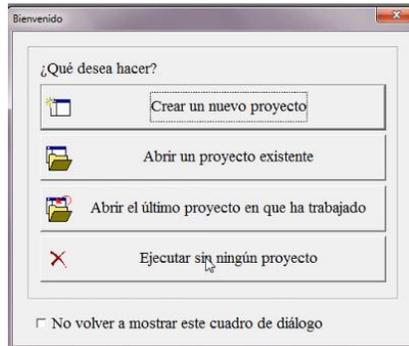
Aparato: **Ashtech Promark 2**

En el bajado de datos se utilizó el programa GNSS Solutions



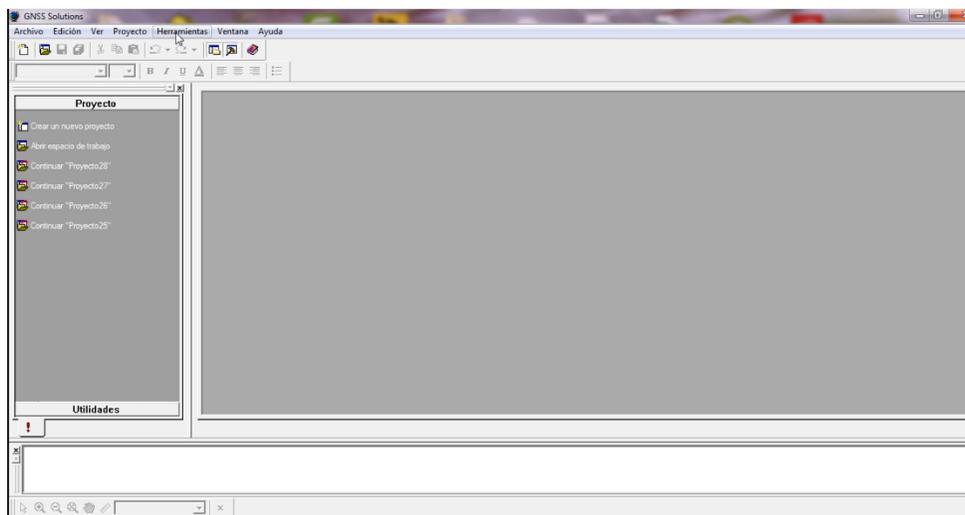
Imágen 5.34: GNSS Solutions

En el cual al entrar al programa se nos abre un recuadro en donde se selecciona “Crear un nuevo proyecto”



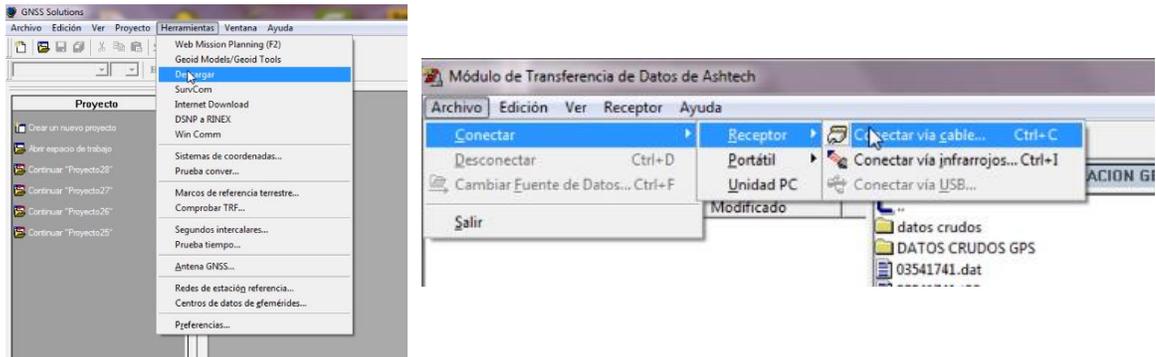
Imágen 5.35: Interfaz de inicio de programa GNSS Solution.

Al seleccionar la opción se nos abre la interfaz del programa.



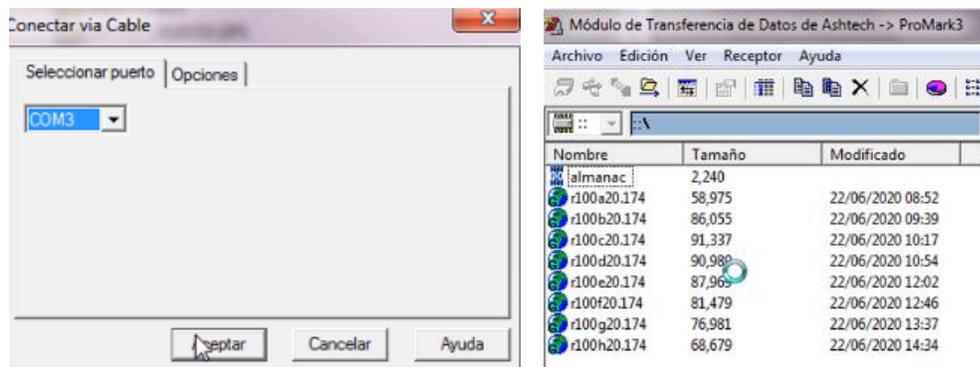
Imágen 5.36: Interfaz de trabajo del programa GNSS solution

Seleccionaremos herramienta se desplegará una ventana en el cual seleccionaremos descargar, luego seleccionaremos conectar receptor y conectar vía cable.



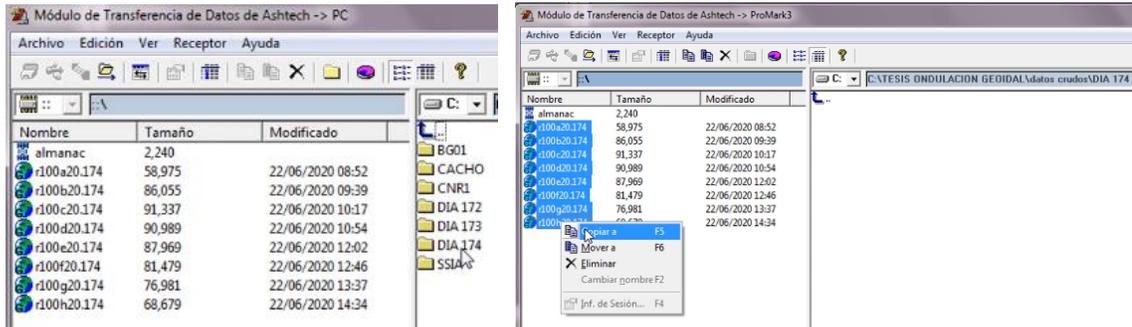
Imágen 5.37: Traserferencia de datos crudos

Se aparecerá la ventanilla siguiente en el cual desplegaremos dando clic en la flecha y seleccionaremos la opción del aparato, dar clic en aceptar, se abrirá la ventanilla con los datos crudos.



Imágen 5.38: Traserferencia de datos crudos -tipo de puerto.

Luego buscamos la carpeta en donde descargaremos los datos crudos, luego seleccionaremos los datos crudos y se da clic derecho se despliega una ventanilla elegiremos "copiar a".



Imágen 5.39: Tráserencia de datos crudos

Se empezará a copiar los datos crudos a la carpeta seleccionada.



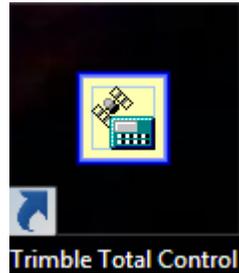
Imágen 5.40: Tráserencia de datos crudos

Se cargarán 3 archivos, luego se selecciona archivo y se le da desconectar.

Para el aparato Trimble NeTRs se realizó el bajado de datos crudos directamente del dispositivo.

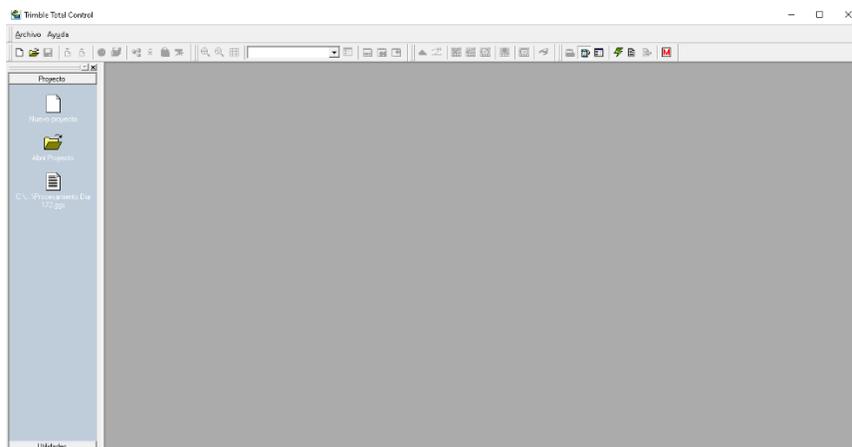
Procesamiento de Bancos de marca

Para el procesamiento de los bancos de marca estudiados se utilizó el programa Trimble Total Control.



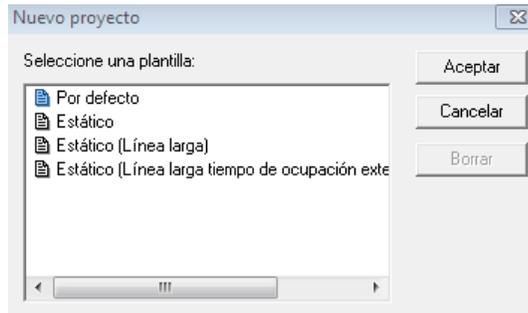
Imágen 5.41: Programa Trimble Total Control

Al abrir el programa se muestra la siguiente interfaz en el cual se seleccionará “Nuevo Proyecto”.



Imágen 5.42: Interfaz inicio de programa.

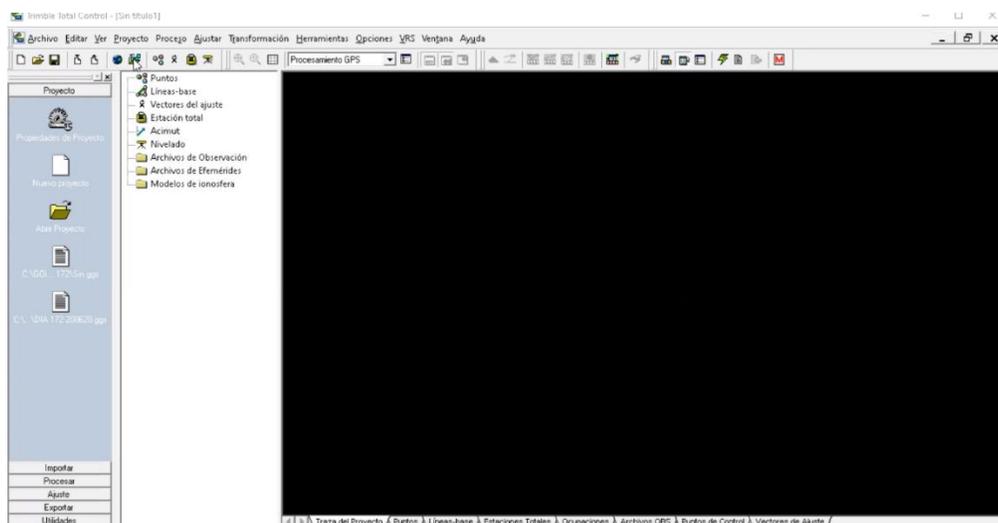
Se muestra la siguiente ventanilla, se selecciona por defecto y se da clic en aceptar.



Imágen 5.43: Ventanilla Nuevo proyecto.

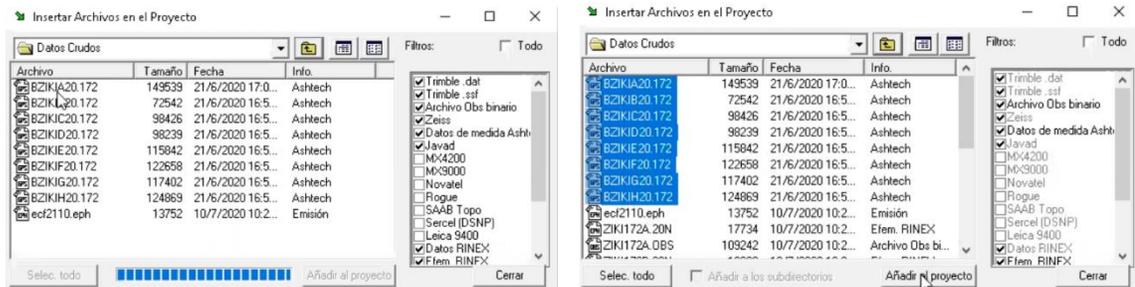
Abre un nuevo proyecto en el cual se trabajará en él. Se selecciona el icono

“Datos de salida del receptor” 



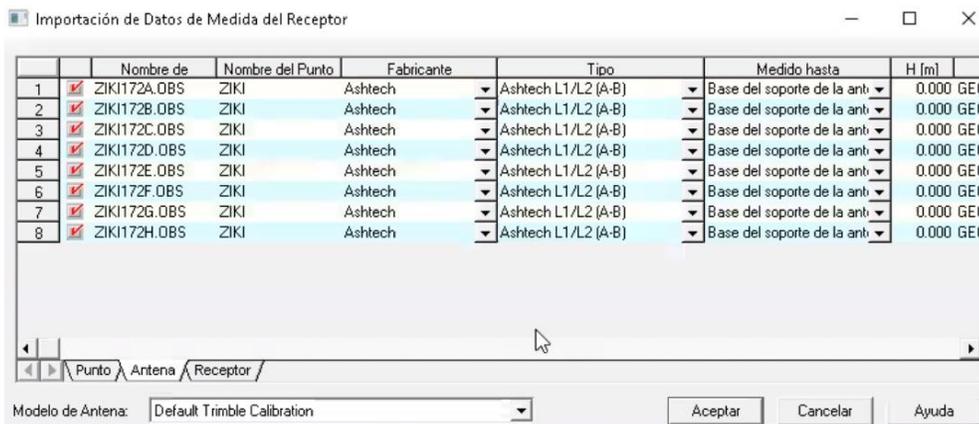
Imágen 5.44: Interfaz de trabajo.

Abrirá el siguiente recuadro y se buscará los datos crudos del proyecto, en nuestro caso los bancos de marca del día juliano 172, se selecciona los datos crudos y se le da clic en “añadir al proyecto”.



Imágen 5.45: Importación de datos crudo de bancos de marca.

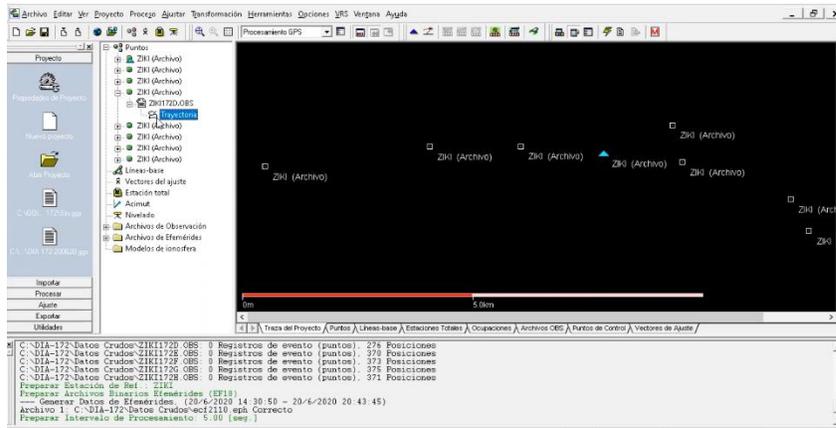
Se abre una ventanilla con los bancos de marca seleccionado en el cual se da clic en aceptar.



Imágen 5.46: Cuadro de dialogo de importación de datos de medida del receptor.

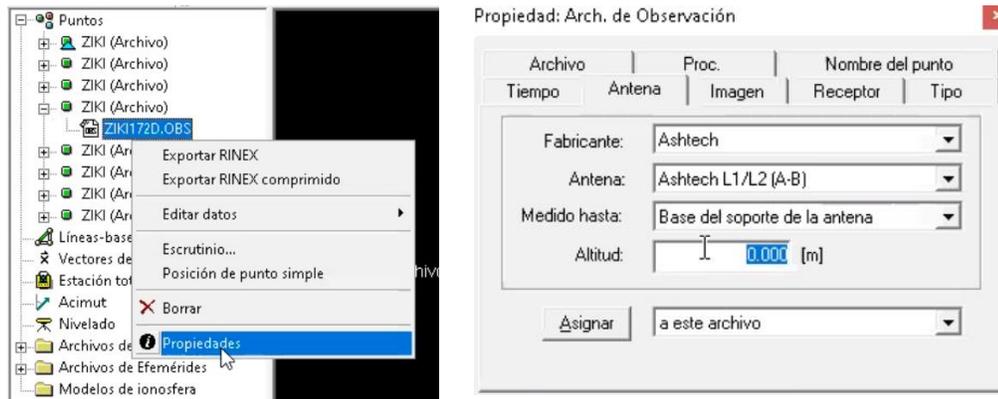
El programa ploteará los bancos de marca, en el cual se realizará el postproceso correspondiente para cada uno.

Se despliega un archivo del lado izquierdo dando clic en "+", se selecciona "Trayectoria" y se da "suprimir"; para el postproceso solo necesitamos el archivo OBS.



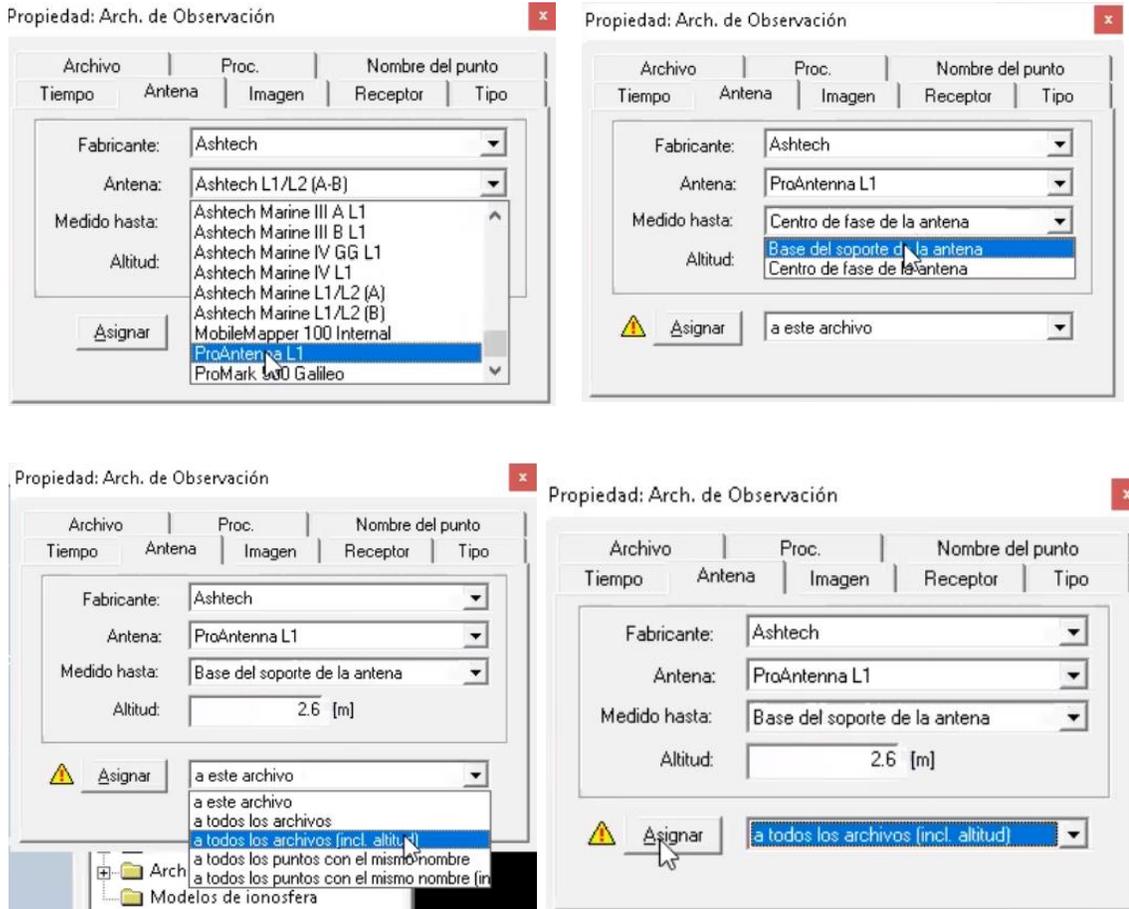
Imágen 5.47: Post-proceso de bancos de marca.

En el cuadro de dialogo izquierdo se despliega nuevamente unos de los archivos, Se da clic derecho en el archivo OBS y se selecciona “propiedades”, se abre el cuadro de dialogo “propiedad Archivo de observación”.



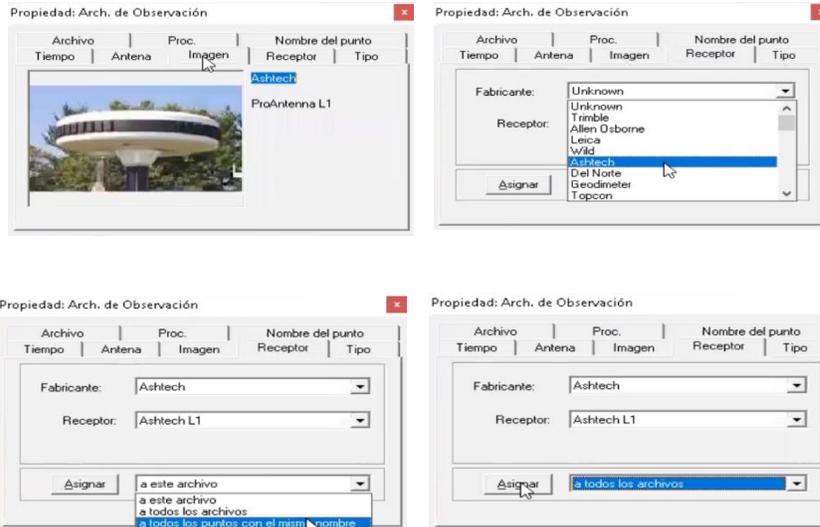
Imágen 5.48: Modificación de parámetros de antena

En la pestaña “Antena”, Se modifica el tipo de antena, el tipo de medición de la altura del aparato, la altura del aparato y se selecciona “asignar a todos los archivos incluyendo la altura”.



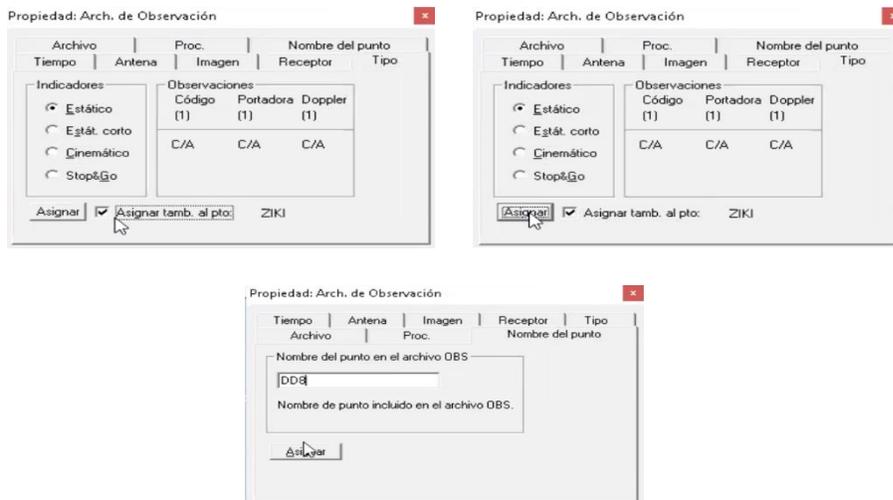
Imágen 5.49: Modificación de parámetros de antenas

En la pestaña imagen se observa el tipo de antena que se utilizó en la medición, en la pestaña receptor se modifica en fabricante se selecciona “Ashtech”, el programa identifica el receptor, y se selecciona “Asignar a todos los puntos con el mismo nombre”.



Imágen 5.50: Modificación de parámetros de receptor.

En la pestaña Tipo se selecciona el método de medición en el cual en este proyecto se desarrolló en el tipo “estático”, de selecciona asignar, En la pestaña Nombre del punto, se cambia el nombre y se da clic en asignar y cerrar.



Imágen 5.51: Modificación de parámetros- tipo de medición y cambio de nombre.

Luego se da clic nuevamente en el icono “Datos de salida del receptor”  y buscamos los archivos crudos de las bases se selecciona damos clic en añadir.

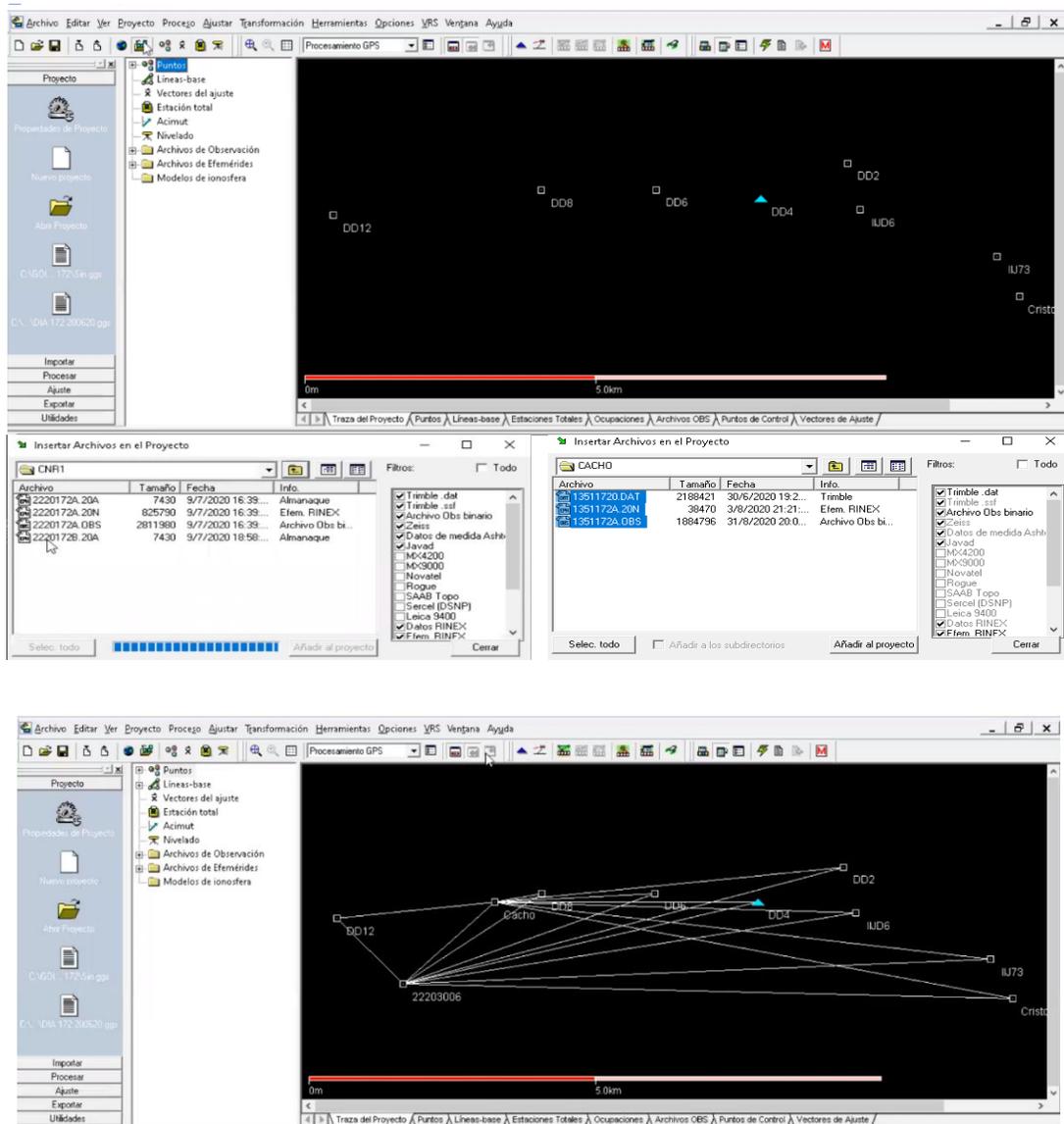
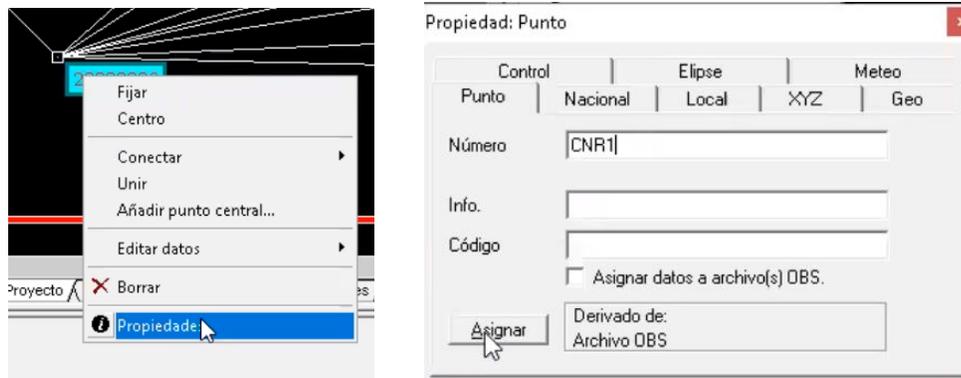


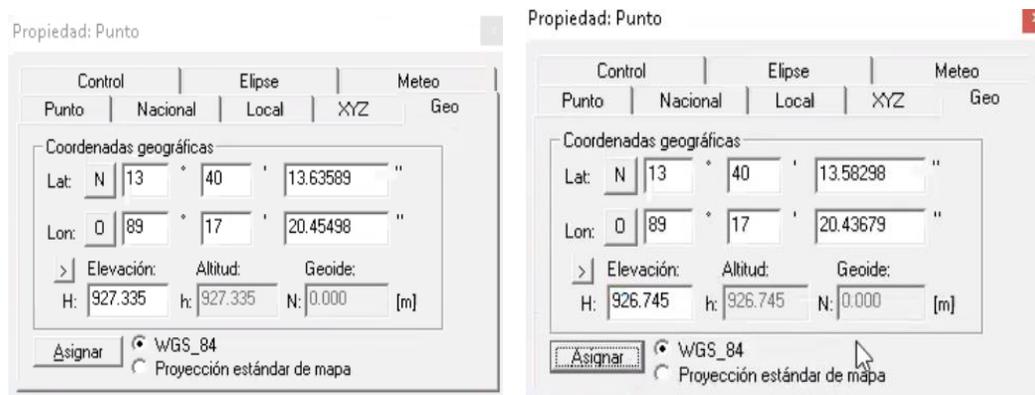
Imagen 5.52: Importación de bases CNR1 y CACHO

Unas de las bases no fueron identificadas con su nombre, se modificará dando clic derecho en el nombre y seleccionamos propiedades, luego cambiamos nombre y se da clic en asignar.



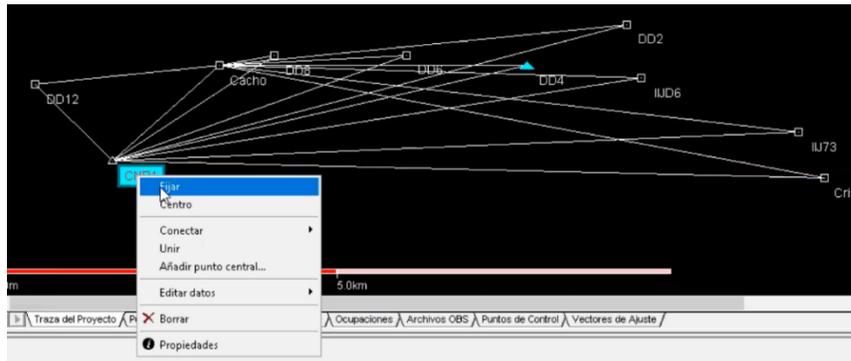
Imágen 5.53: Modificación de nombre cuadro de dialogo propiedad.

También se modificará las coordenadas de la base CNR1, a las coordenadas fijas de la base, y se da clic en asignar y cerrar.



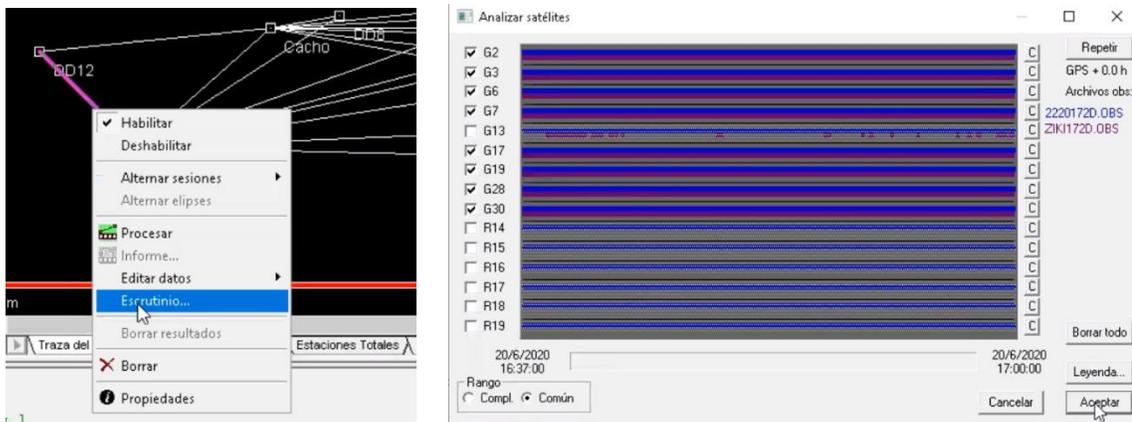
Imágen 5.54: Modificación Coordenadas fijas.

Fijamos unas de las bases dando clic derecho y luego fijar.



Imágen 5.55: Fijar una base.

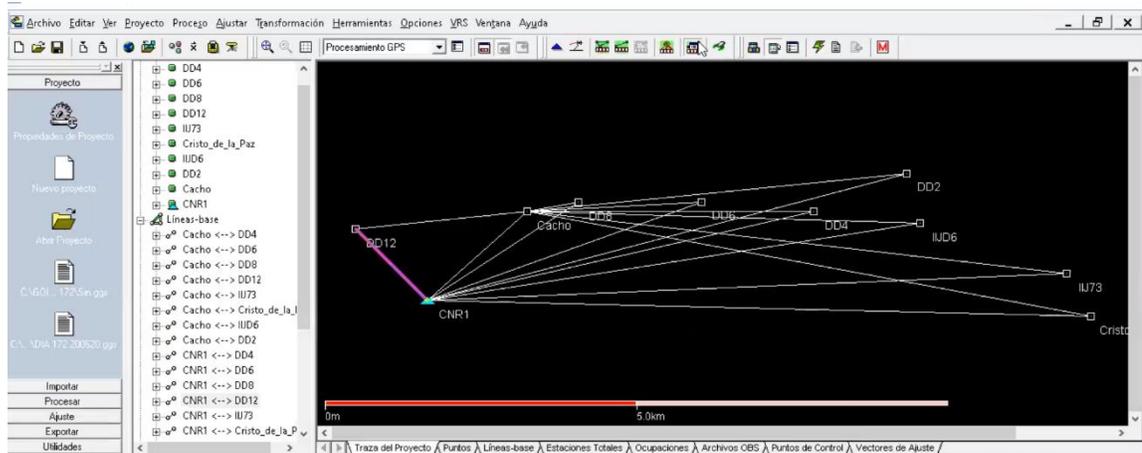
Procederemos a hacer el postproceso de las líneas bases, dando clic derecho a la línea y luego escrutinio, se abrirá una ventanilla en donde se observarán los satélites en común con la base y el banco de marca, en donde solo desactivamos los satélites con señal dañada y los satélites que no están en común con el banco de marca y la base, luego se da clic en aceptar.



Imágen 5.56: Esrutinio de línea base.

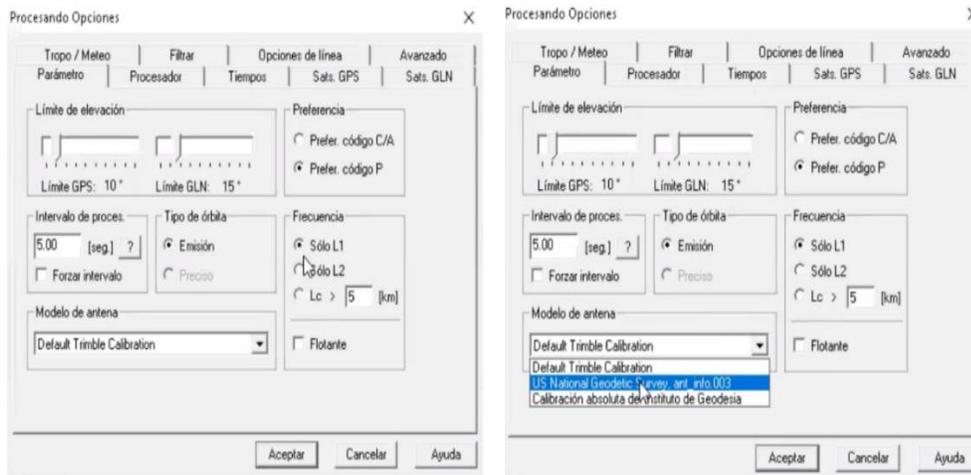
Ahora se da clic en el icono “opciones de procesamiento”

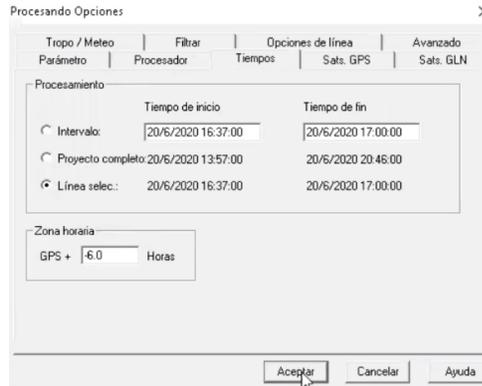




Imágen 5.57: Procesamiento de línea base.

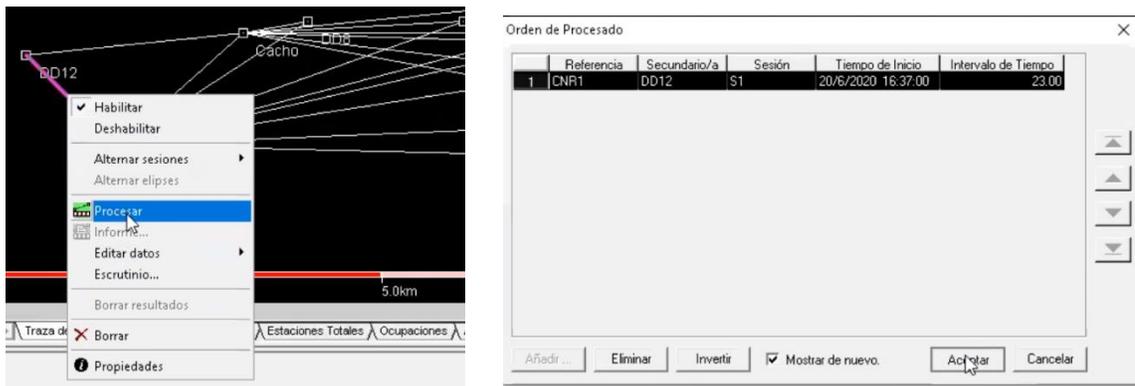
Se abrirá la siguiente ventanilla, en la pestaña “parámetro”, se modificará el intervalo de proceso, modelo de antena, frecuencia y en la pestaña “Tiempo” se modificará el intervalo de procesamiento y zona horaria, y luego le damos clic en aceptar.





Imágen 5.58: Modificación de parámetros en procesamiento de línea base.

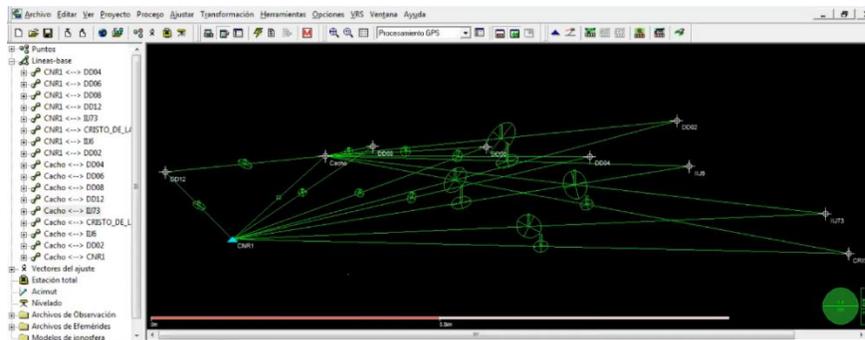
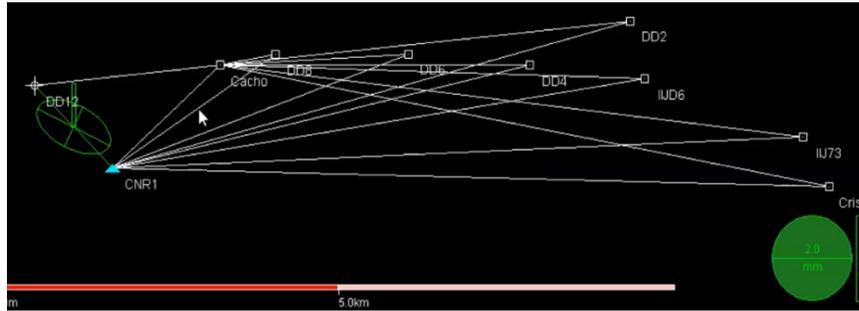
Nuevamente se dará clic derecho en la línea base, y se da clic en procesar y se abrirá la ventanilla “orden de procesado” en el cual se dará clic en aceptar



Imágen 5.59: Procesamiento de una línea base.

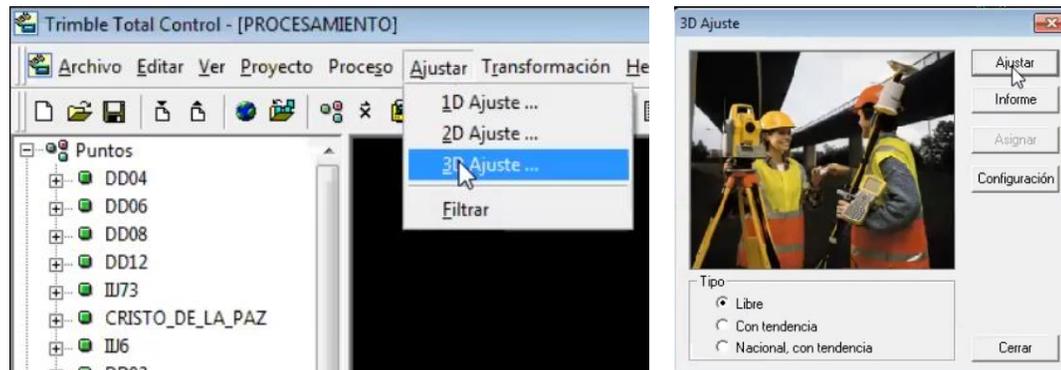
Se verá un cambio en la línea base en el cual indicara si es bueno o no el procesamiento, de manera que el programa utiliza los colores del semáforo siendo verde procesamiento bueno, amarillo aceptable y rojo malo.

Este proceso se realiza en todas las líneas bases.



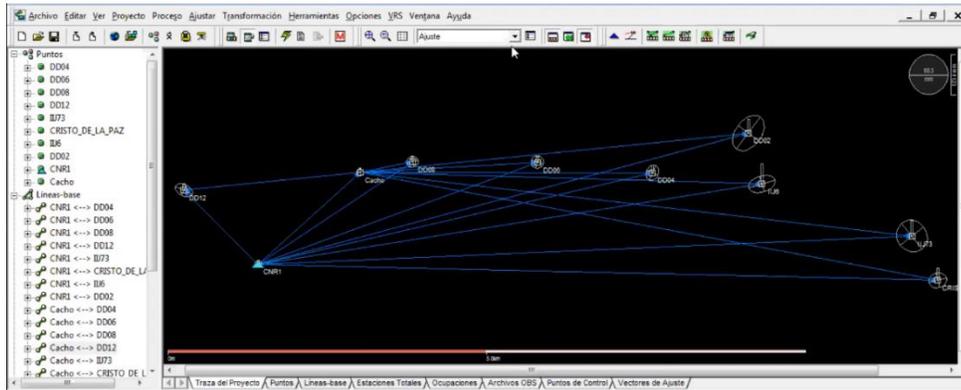
Imágen 5.60: Procesamiento de red de líneas bases.

Luego se realiza el ajuste del proyecto para la base CNR1, en el cual se da clic en botón “ajuste” y luego “3D Ajuste”, se abrirá una ventanilla, se modifica la sección “tipo” se da clic en “Libre” y luego en ajustar.



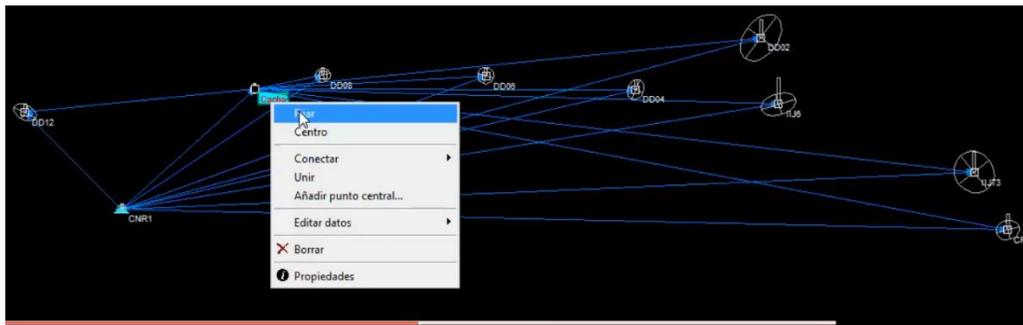
Imágen 5.61: Primer ajuste con base CNR 1.

Se cambiará las líneas bases de color azul, indicando que el procesamiento está bien.



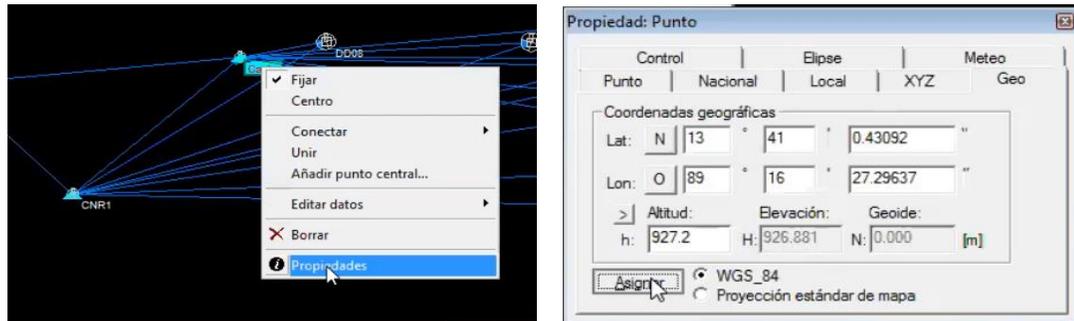
Imágen 5.62: Ajuste de red con base CNR 1.

Ahora se ajustará para la base CNR1 y para CACHO, Se da clic derecho en la base cacho y se da clic en fijar.



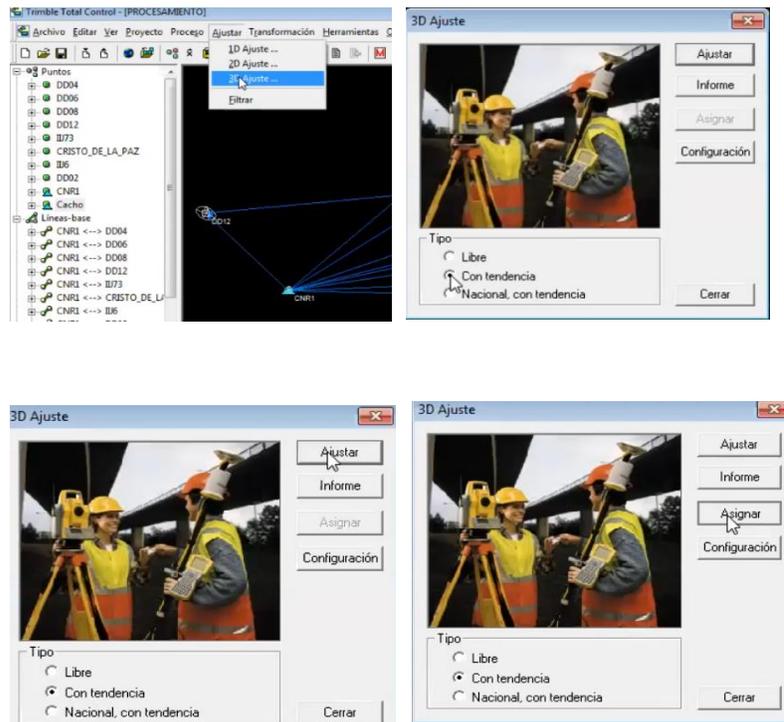
Imágen 5.63: Ajuste de red de bases CNR 1 y CACHO.

Se da clic derecho nuevamente en la base cacho y se selecciona propiedades, en la ventana se selecciona la pestaña punto, y se modifica las coordenadas de la base seleccionad y se da clic en asignar.



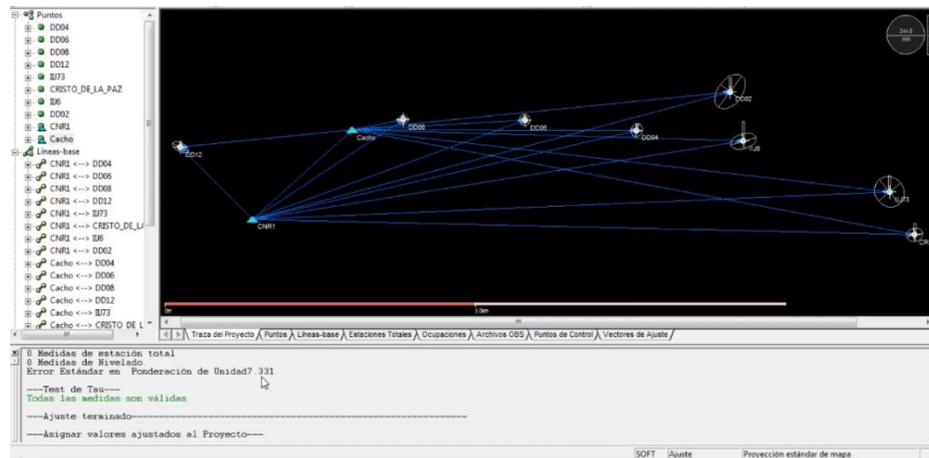
Imágen 5.64: Modificación de coordenadas fija en Base CACHO.

Ahora se da clic en ajustar y en 3D Ajuste, en la ventanilla de ajuste se modificará la sección tipo, se seleccionará “con tendencia” y luego se da clic en ajustar y asignar.



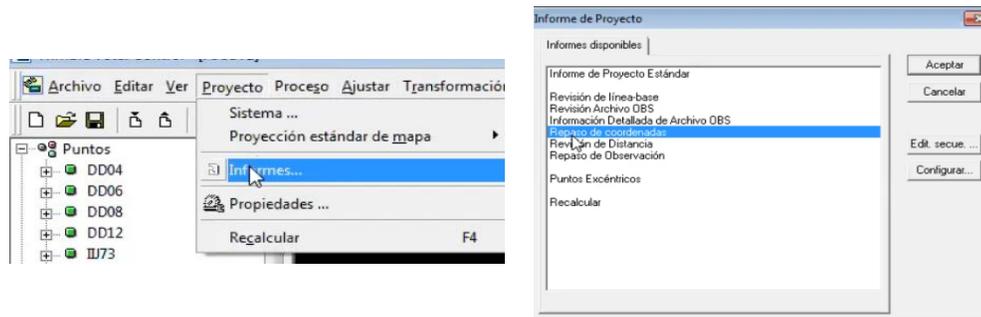
Imágen 5.65: Segundo ajuste con Base CNR1 y CACHO.

Luego el programa dará el error estándar horizontal en el cual en nuestro proyecto no tiene alguna relevancia ya que solo necesitaremos las elevaciones.



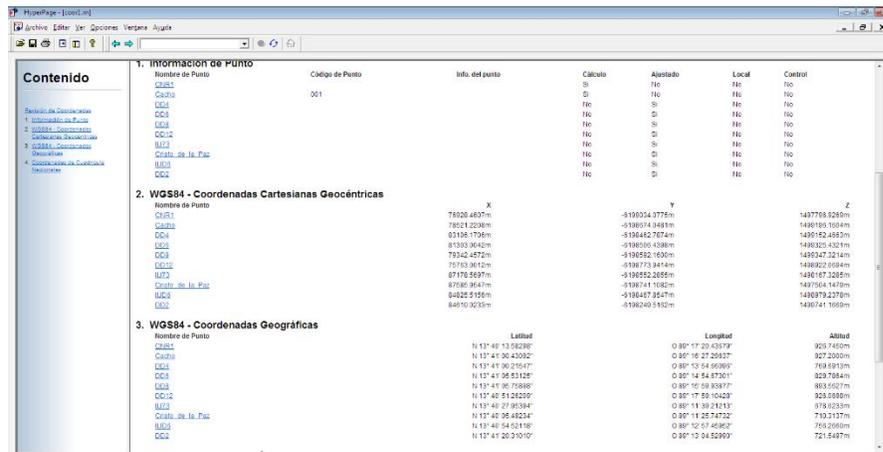
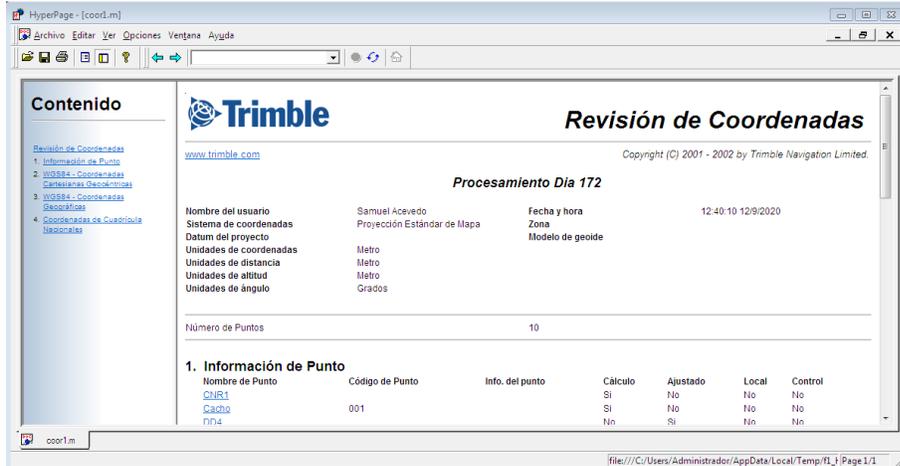
Imágen 5.66: Red procesada.

Para ver el informe se da clic en proyecto y luego en informe, se abrirá la ventanilla “informe de proyecto” se selecciona “Repaso de coordenadas”, y se da clic en aceptar.



Imágen 5.67: Informe de proyecto.

Se abre el programa “hyperPage” en el cual se presenta el informe del proyecto, con las coordenadas elipsoidales.



Imágen 5.68: Informe de la red procesada -Coordenadas Elipsoidales.

Este procedimiento se realizó en los días juliano 173 y 174.

En el informe nos brinda la latitud, longitud y elevación elipsoidal.

En la siguiente tabla se presenta las elevaciones elipsoidales obtenidas del levantamiento realizado de cada uno de los bancos de marca.

Resultados de elevaciones elipsoidales.

Tabla 5.2: Elevaciones elipsoidales

BANCO DE MARCA	ELEVACION ELIPSOIDAL
DD-2	721,5497
DD-4	769,6913
DD-6	829,7864
DD-8	893,5627
DD-12	926,0698
A-78	763,4056
CRISTO DE LA PAZ	710,3137
IJJ-73	678,0233
IJD-6	756,266
DA-1	757,7612
DA- CONSTITUCION 1	755,6725
DA-3	742,3002
DA-14	494,3393
DA-26	640,4446
SG-6	703,5851
SG-7	678,1821
DA-9	492,2721
D- HOSPITAL MILITAR	689,1204
D-21	734,5566
D-26	708,4968
D-27	726,1978
WW-207	828,2875
WW-221	856,7097
WW-227	758,1795
WW-252	725,3371
M-145	617,2494
M-150	528,8124
M-152	477,2914
M-153	461,1541

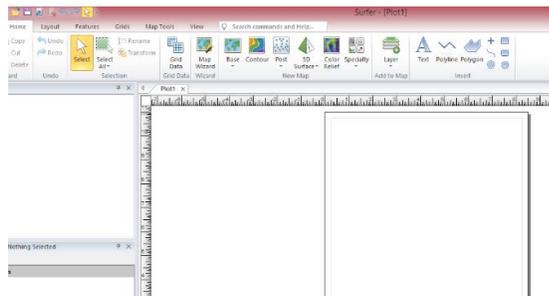
CAPÍTULO VI

CALCULO DE LA ONDULACION GEOIDAL

6.1 Realización de malla de elevaciones elipsoidales.

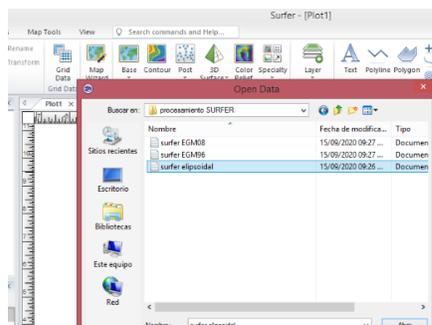
Una vez obtenidas las elevaciones elipsoidales y mediante el software SURFER creamos las mallas de elevaciones de la siguiente manera:

Abrir Surfer. Se mostrará la pantalla de inicio siguiente.



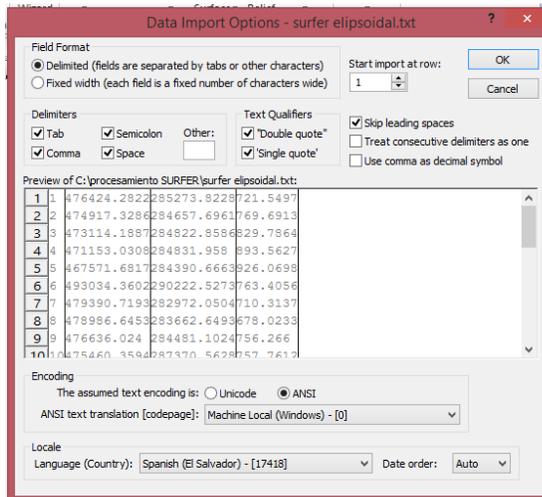
Imágen 6.1: Pantalla de inicio de Surfer.

Para la creación de la malla se debe generar una cuadrícula de datos para ello nos dirigimos en a la pestaña “grid data” y seleccionaremos el archivo donde se encuentra la latitudes, longitudes y elevaciones.



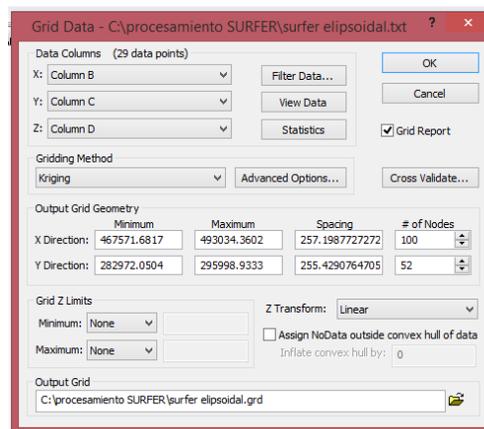
Imágen 6.2: Creación de cuadrícula de datos.

La siguiente pantalla nos mostrará la tabla de datos a importar para la creación de la cuadrícula de datos.



Imágen 6.3: Datos a importar.

Para nuestra tabla con los datos a importar en la columna B se encuentran las coordenadas en X, en la columna C se encuentran las coordenadas en Y y en en la columna C se encuentran las elevaciones.



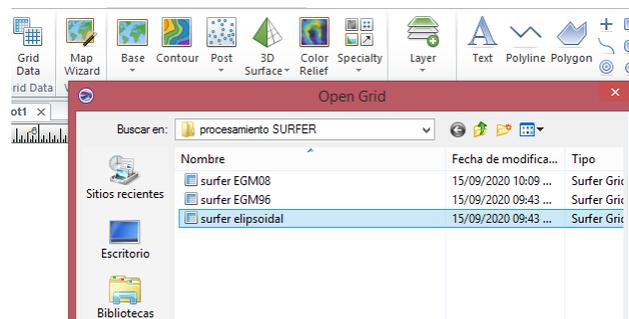
Imágen 6.4: Selección de datos.

Se nos creará un archivo con la cuadrícula de datos el cual nos servirá para la creación de las mallas.



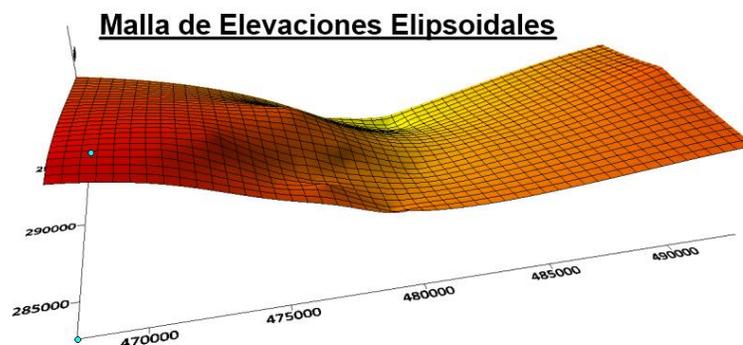
Imágen 6.5: Archivo con cuadrícula de datos.

Para la creación de la malla nos dirigimos a la pestaña “3D Surface” y seleccionamos el archivo con la cuadrícula de datos creada anteriormente.



Imágen 6.6: Creación de malla.

Se nos creará la malla de elevaciones elipsoidal.



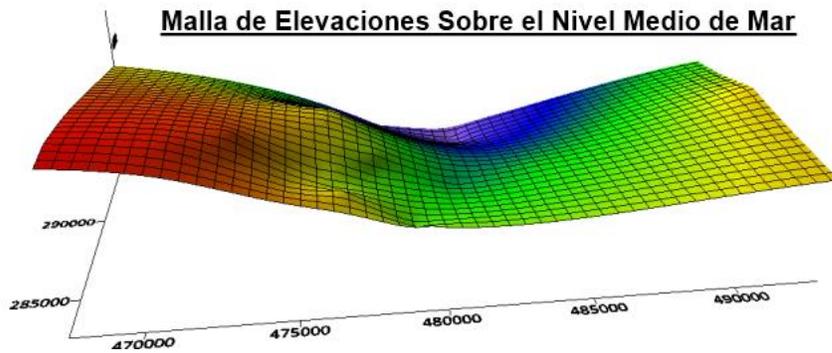
Imágen 6.7: Malla de elevaciones elipsoidales.

6.2 Realización de malla de elevación Sobre el Nivel Medio del Mar.

De la misma manera como se creó la malla elipsoidal se creará la malla de elevación sobre el nivel de mar, para ello necesitamos las elevaciones SNMM proporcionadas por el CNR.

Tabla 6.1: Elevaciones sobre el nivel medio del mar

N°	BM	ELEVACION SNMM
1	DD-2	719.9657
2	DD-4	768.0809
3	DD-6	828.1851
4	DD-8	891.7282
5	DD-12	924.5480
6	A-78	761.8195
7	CRISTO DE LA PAZ	708.8065
8	IIJ-73	675.8012
9	IIJD-6	754.8517
10	DA-1	756.0656
11	DA- CONSTITUCION 1	753.9293
12	DA-3	740.5275
13	DA-14	492.4477
14	DA-26	638.6460
15	SG-6	701.6880
16	SG-7	676.5205
17	DA-9	490.3804
18	D- HOSPITAL MILITAR	687.4569
19	D-21	732.8293
20	D-26	706.8284
21	D-27	724.4923
22	WW-207	826.3907
23	WW-221	854.4482
24	WW-227	756.4866
25	WW-252	723.6100
26	M-145	615.4647
27	M-150	526.9428
28	M-152	475.4055
29	M-153	459.2594



Imágen 6.8: Malla de elevaciones SNMM.

6.3 Cálculo de Ondulación Geoidal.

La ondulación geoidal sería la diferencia entre las ondulaciones elipsoidales y las elevaciones sobre el nivel medio del mar. Para el banco de marca DD2 la ondulación geoidal sería:

$$N = h - H$$

Donde:

N = ondulación geoidal

h = Elevación elipsoidal y

H = Elevación SNMM.

$$N_{DD2} = 721.5497 - 719.9657$$

$$N_{DD2} = 1.5840 \text{ metros.}$$

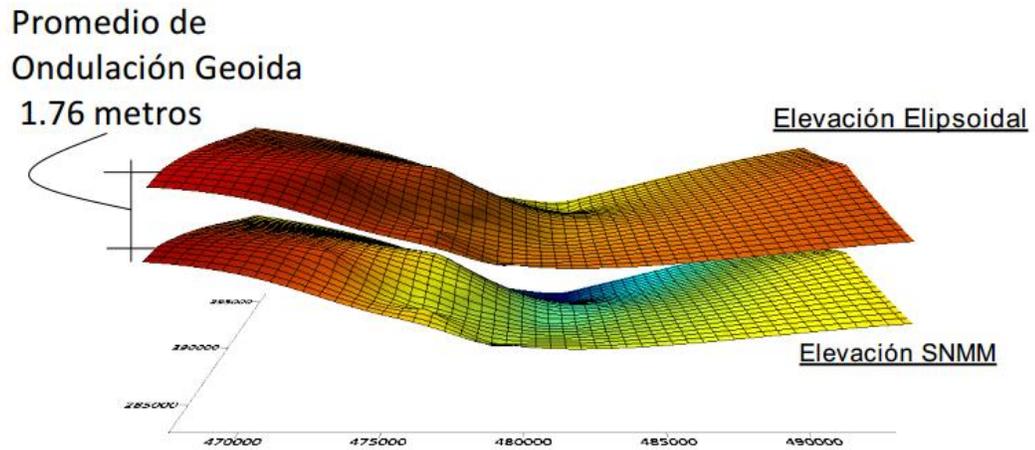
En la tabla 6.2 se muestran los resultados de la ondulación geoidal de cada uno de los bancos de marca.

Tabla 6.2: Ondulación Geoidal.

BM	E. ELIPSOIDAL (m)	E. SNMM (m)	ONDULACIÓN GEOIDAL (m)
DD-2	721.5497	719.9657	1.5840
DD-4	769.6913	768.0809	1.6104
DD-6	829.7864	828.1851	1.6013
DD-8	893.5627	891.7282	1.8345
DD-12	926.0698	924.5480	1.5218
A-78	763.4056	761.8195	1.5861
CRISTO DE LA PAZ	710.3137	708.8065	1.5072
IJJ-73	678.0233	675.8012	2.2221
IJD-6	756.2660	754.8517	1.4143
DA-1	757.7612	756.0656	1.6956
DA- CONSTITUCION 1	755.6725	753.9293	1.7432
DA-3	742.3002	740.5275	1.7727
DA-14	494.3393	492.4477	1.8916
DA-26	640.4446	638.6460	1.7986
SG-6	703.5851	701.6880	1.8971
SG-7	678.1821	676.5205	1.6616
DA-9	492.2721	490.3804	1.8917
D- HOSPITAL MILITAR	689.1204	687.4569	1.6635
D-21	734.5566	732.8293	1.7273
D-26	708.4968	706.8284	1.6684
D-27	726.1978	724.4923	1.7055
WW-207	828.2875	826.3907	1.8968
WW-221	856.7097	854.4482	2.2615
WW-227	758.1795	756.4866	1.6929
WW-252	725.3371	723.6100	1.7271
M-145	617.2494	615.4647	1.7847
M-150	528.8124	526.9428	1.8696
M-152	477.2914	475.4055	1.8859
M-153	461.1541	459.2594	1.8947

Promedio de ondulación geoidal.

El promedio de ondulación geoidal de los 29 BM en estudio en el área metropolitana de San Salvador es de **1.76 metros**.



Imágen 6.9: Promedio de ondulación geoidal

CAPITULO VII

CÁLCULO DE ELEVACIONES ORTOMETRICAS CON MODELOS GEOIDALES EGM96 Y EGM2008

Para el cálculo de las elevaciones ortométricas se utilizarán dos métodos.

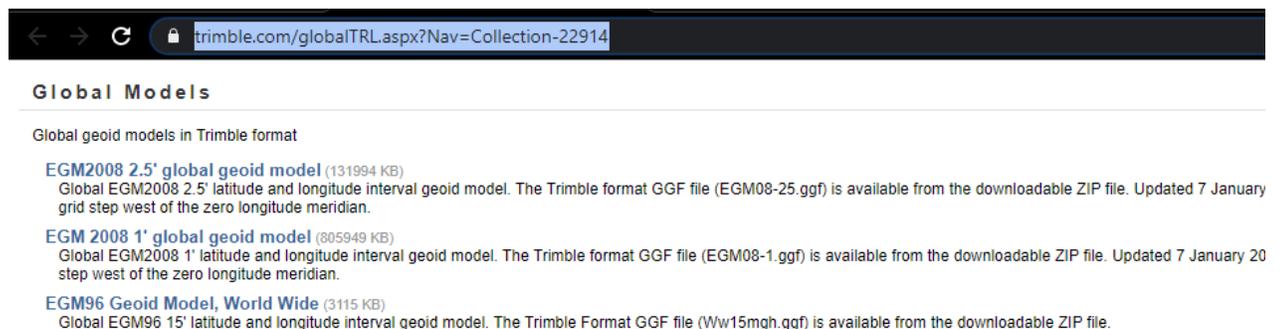
- 1- Mediante el software Trimble Total Control.
- 2- Utilizando calculadora geodésica

7.1 Cálculo de elevaciones Ortométricas utilizando modelo geoidal EGM08.

Calculo de elevación ortométricas usando el software Trimble Total Control.

Para esto se requiere crear el sistema de referencia geodésico Lambert
Sirgas El Salvador 2007, para ello se necesita el modelo de geoide EGM08
el cual se puede descargar de la dirección web siguiente:

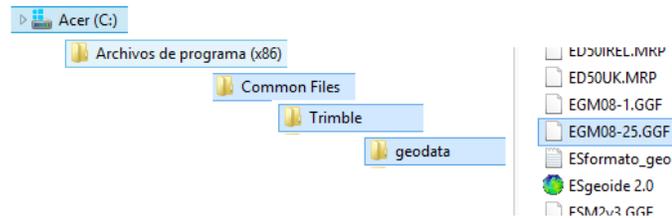
<https://www.trimble.com/globalTRL.aspx?Nav=Collection-22914>



Imágen 7.1: Descarga de modelo geoidal EGM08.

Una vez descargado el archivo, este se debe copiar y pegar según la ruta
siguiente:

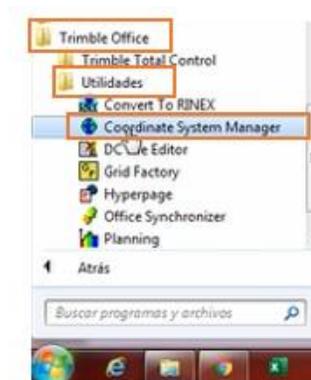
Pegar en: disco local (C:), Archivo de programa, archivos comunes, Trimble, geodata.



Imágen 7.2: Ruta a seguir para la colocación del archivo del modelo geoidal EGM08.

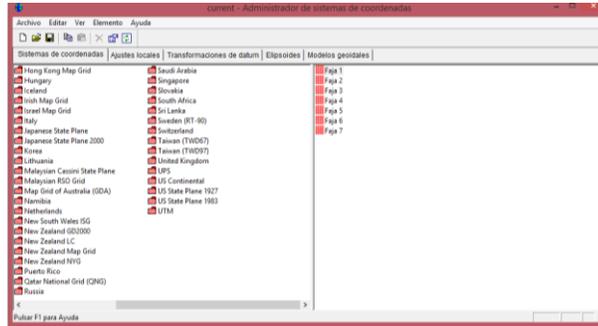
Ruta y pasos a seguir para la creación del sistema de referencia geodésico Lambert Sirgas El Salvador 2007.

Inicio, Todos los programas, Trimble office, Utilidades y Coordinate System Manager.



Imágen 7.3: Ruta a seguir para abrir la ventana del Administrador de sistema de coordenadas.

Se abrirá la siguiente ventana:

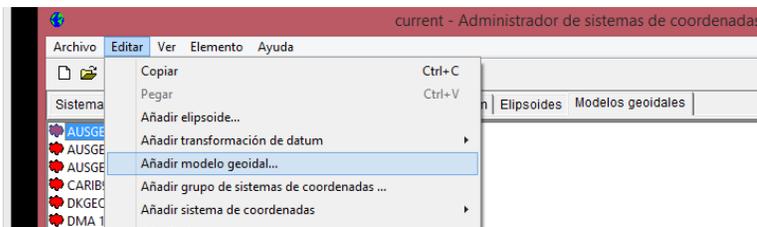


Imágen 7.4: Administrador de sistema de coordenadas.

Creación de proyección Lambert Sirgas El Salvador 2007:

1º- Pestaña de modelo geoidal.

Creación del modelo de geoides: Modelos de geoidales, Editar y Añadir modelo geoidal.



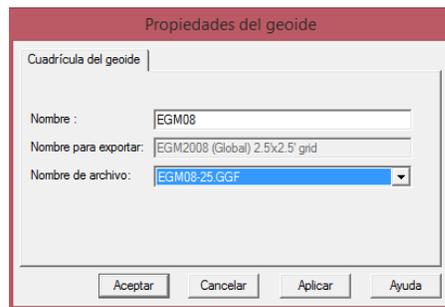
Imágen 7.5: Ruta a seguir para abrir la ventana de propiedades del geoides.

Se abrirá la siguiente ventana:



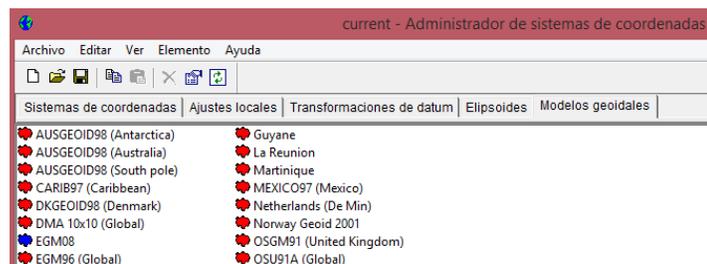
Imágen 7.6: Propiedades del geoide.

Donde se debe colocar el nombre de nuestro modelo de geoide (EGM08) y el archivo que contiene el modelo geoidal descargado anteriormente, Aplicar y Aceptar.



Imágen 7.7: Nombre y Archivo del modelo geoidal.

Se genera el modelo del geoide



Imágen 7.8: Modelo geoidal EGM08

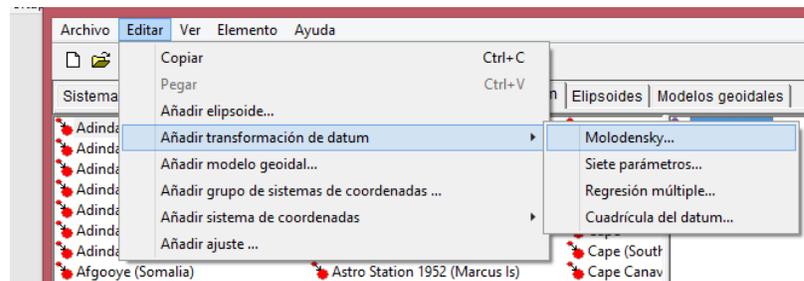
2º- Transformaciones de datum.

Nuestro datum se llamará Sirgas, que es el mismo elipsoide WGS-84.



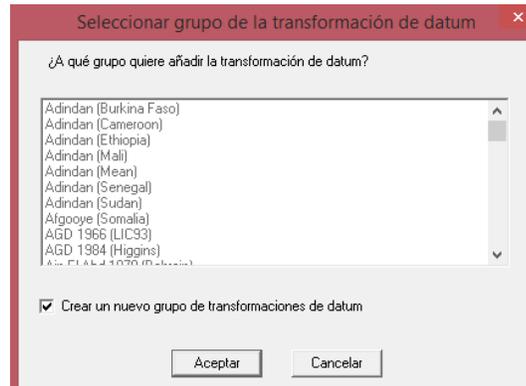
Imágen 7.9: Transformación del datum.

Seguiremos la siguiente ruta para abrir la ventana de transformación de datum: Editar, Añadir transformación de datum, Molodensky.



Imágen 7.10: Ruta a seguir para abrir ventana de transformación de datum.

Se creará un nuevo grupo de transformación de datum.



Imágen 7.11: Creación de nuevo grupo de trasformaciones de datum.

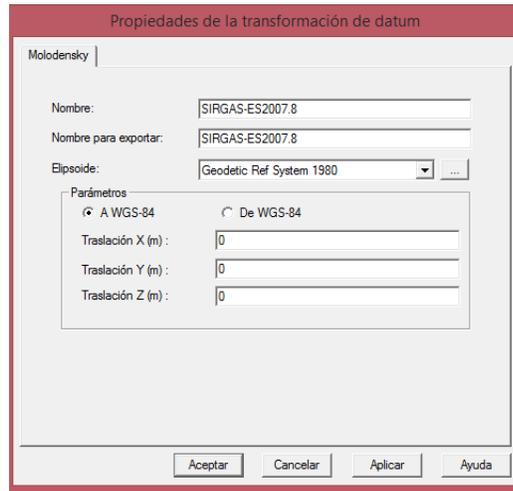
En la ventana de Propiedades de transformaciones de datum se le darán las siguientes propiedades:

- **Nombre: SIRGAS-ES2007.8**
- **Elipsoide: Geodetic Ref System 1980**

Y los siguientes parámetros:

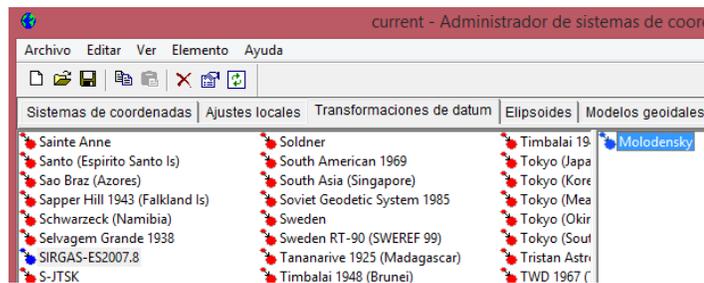
- **WGS-84**
- **Traslación X, Y y Z = 0 debido a que es geocéntrico.**

Aplicar y Aceptar.



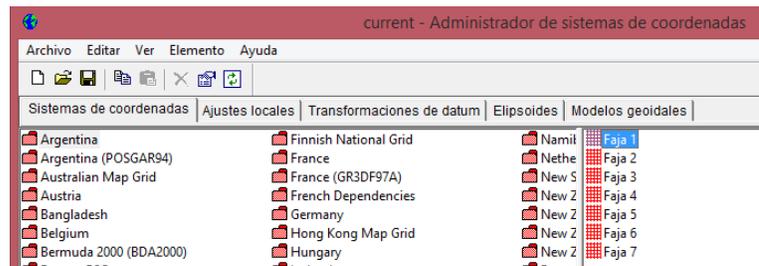
Imágen 7.12: Propiedades y parámetros para el datum.

Se nos creara SIRGAS-ES2007, molodensky



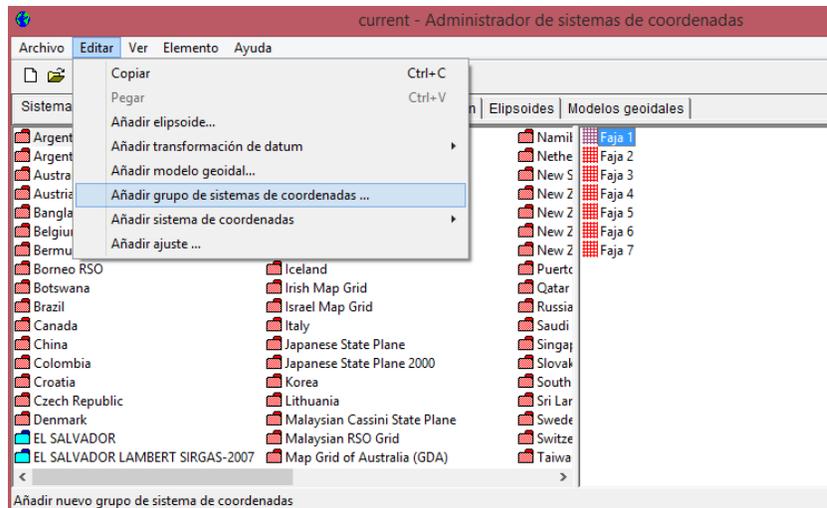
Imágen 7.13: SIRGAS-ES2007

3º- Sistema de coordenadas.



Imágen 7.14: Sistemas de coordenadas.

El sistema de coordenadas es el de nuestro país, para ello nos vamos a Editar, Sistema de coordenadas y creamos nuestro sistema de coordenadas llamado EL SALVADOR LAMBERT SIRGAS 2007.



Imágen 7.15: Ruta para abrir la ventana para los parámetros de sistema de coordenada.

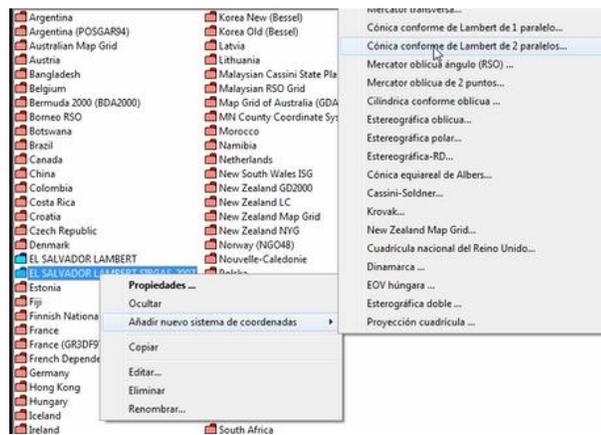
Donde se abrirá la siguiente ventana a la cual se le colocará el nombre de nuestro sistema de coordenadas como se muestra en la imagen 7.14



Imágen 7.16: Parámetros de sistema de coordenada.

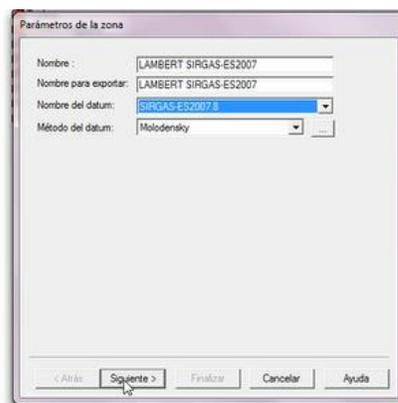
Creando así nuestro sistema de coordenadas las cuales editaremos a continuación.

Clic derecho sobre la carpeta de EL SALVADOR LAMBERT SIRGAS 2007, añadir sistema de coordenadas, Cónica conforme de Lambert de 2 paralelos.



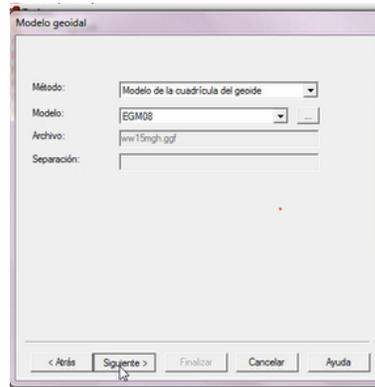
Imágen 7.17: Ruta para abrir la ventana de parámetros de la zona.

En la siguiente ventana se colocarán los parámetros de la zona tales como el nombre y datum SIRGAS-ES2007.8 creado anteriormente. (imagen 7.16)



Imágen 7.18: Parámetros de la zona.

Vincular al modelo del geoid EGM08 ya creado.



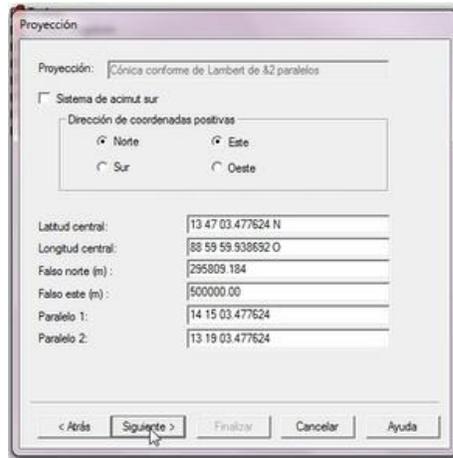
Imágen 7.19: Modelo geoidal.

En la siguiente ventana se colocarán los parámetros de proyección Cónica Conformal de Lambert sirgas-ES2007. Sus valores se presentan a continuación.

PROYECCIÓN CÓNICA CONFORMAL DE LAMBERT ES2007

Parámetros de la proyección

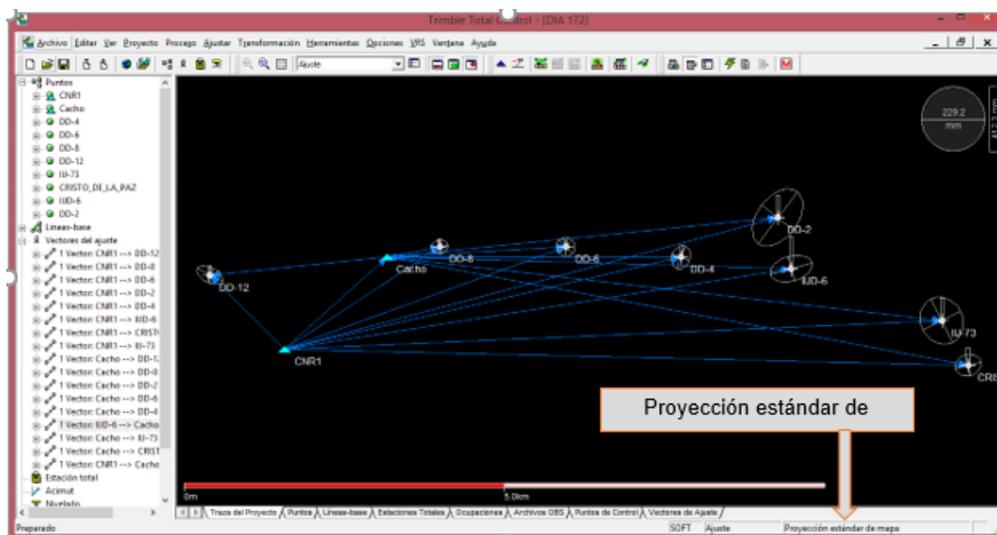
Falso Este	500000.000
Falso Norte	295809.184
Paralelo de origen	13°47'03.477624''N (Valor en SIRGAS)
Meridiano de origen	88° 59' 59.938692" W (Valor en SIRGAS)
1 paralelo estándar	13°19'03.477624''N (Valor en SIRGAS)
2 paralelo estándar	14°15'03.477624''N (Valor en SIRGAS)
Factor de escala en el meridiano	
Origen:	0.99996704



Imágen 7.20: Parámetros de proyección.

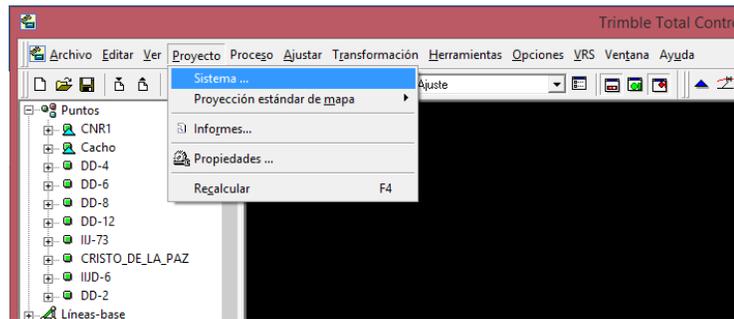
Hemos creado nuestro sistema de referencia LAMBERT SIRGAS-ES2007.

Para la obtención de las elevaciones ortométricas utilizando el software Trimble Total Control, abrimos nuestro archivo donde se ha procesado y ajustado los datos.



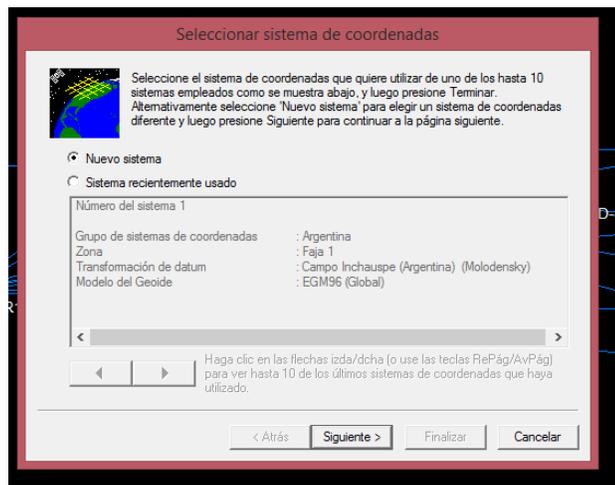
Imágen 7.21: Trimble Total Control, procesamiento y ajuste de datos.

En la imagen 7.19 se observa que el ajuste se encuentra en una proyección estándar de mapa. Para convertirlo a nuestro sistema de referencia LAMBERT SIRGAS-ES2007 creado anteriormente debemos ir a:
Proyecto, Sistema...



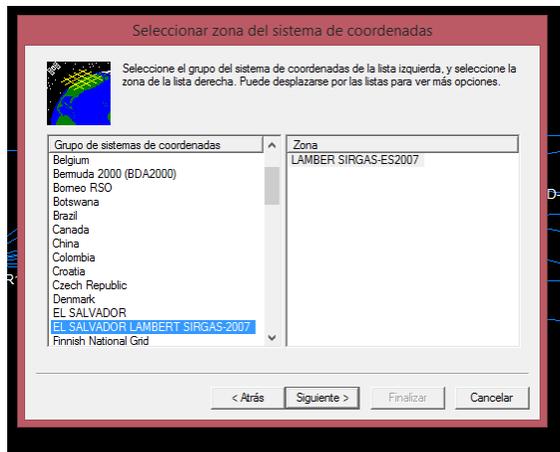
Imágen 7.22: Ruta para abrir venta de cambio de sistema de coordenadas.

Se abrirá la siguiente ventana.



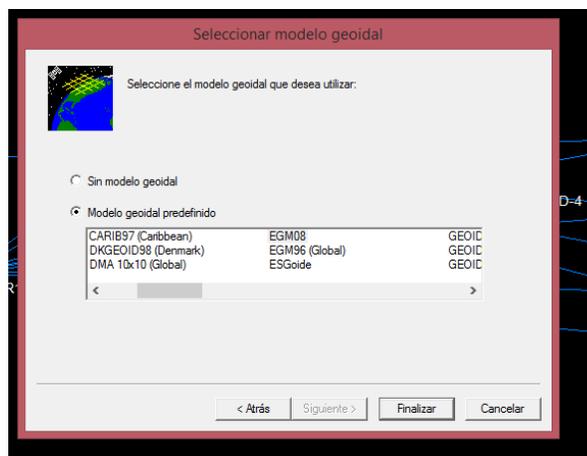
Imágen 7.23: Nuevo sistema de coordenadas.

Donde daremos en nuevo sistema, sistema de coordenadas y zona y se abrirá la siguiente ventana, donde escogeremos nuestro sistema de coordenadas EL SALVADOR LAMBERT SIRGAS-2007.



Imágen 7.24: Seleccionar zona del sistema de coordenadas.

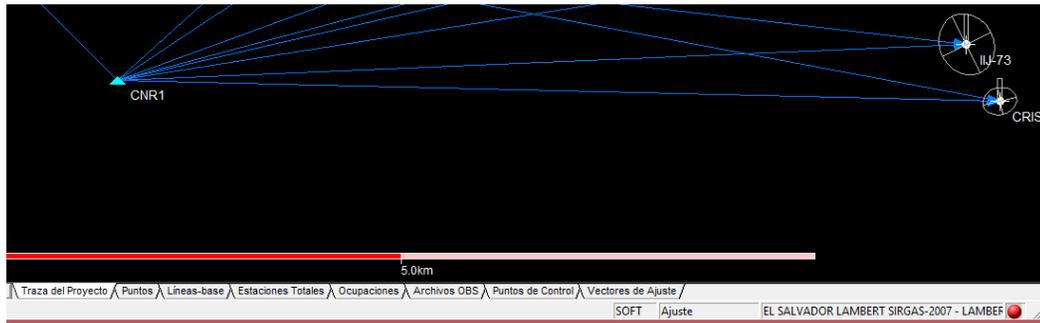
A continuación, seleccionaremos el modelo geoidal EGM08 ya creado.



Imágen 7.25: Seleccionar modelo geoidal.

FINALIZAR.

Ahora veremos que nuestro sistema ha cambiado a LAMBERT SIRGAS-2007

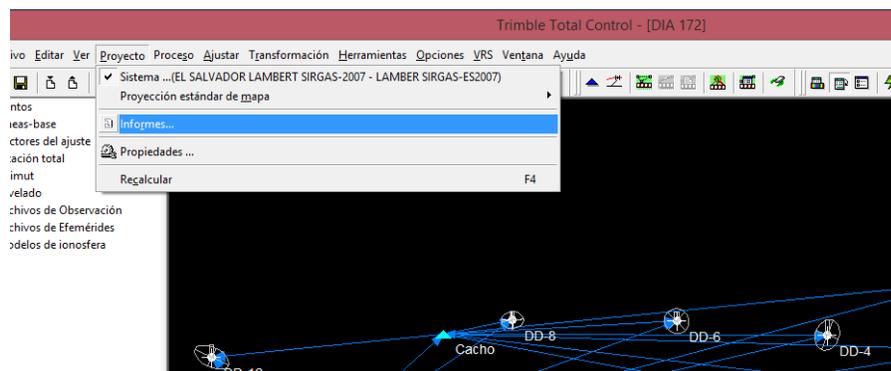


Imágen 7.26: Sistema EL SALVADOR LAMBERT SIRGAS-2007.

Obtención de elevaciones ortométricas con el modelo geoidal EGM08.

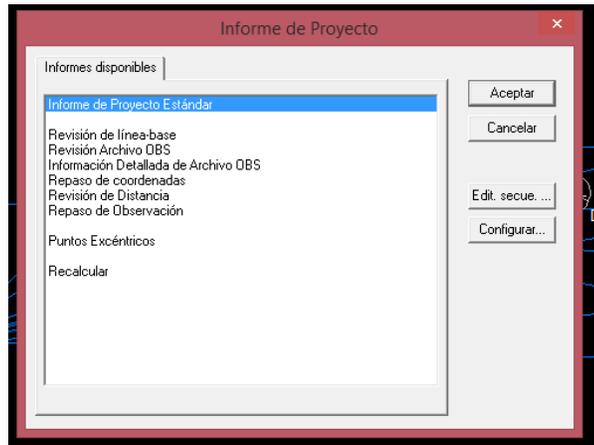
Para obtener las elevaciones ortométricas nos dirigimos a:

Proyecto, informe.



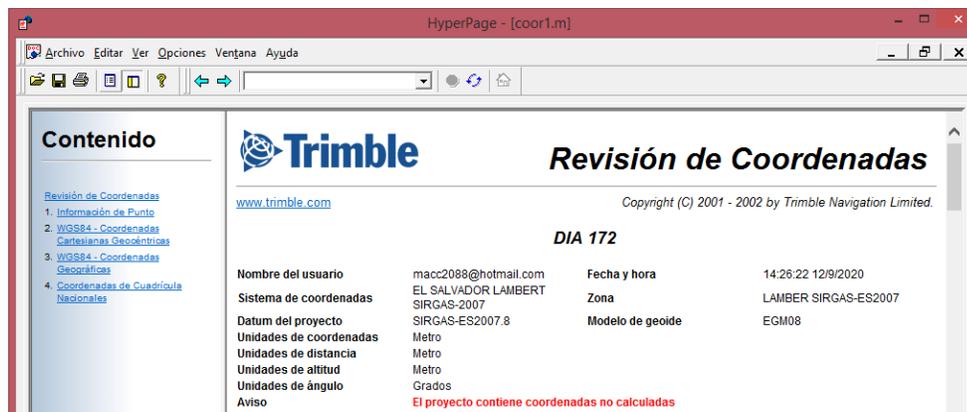
Imágen 7.27: Ruta para abrir ventana de informe de proyecto.

Se abrirá la ventana siguiente donde seleccionaremos repaso de coordenadas.



Imágen 7.28: Informe de proyecto.

Nos aparecerá el informe de coordenadas, altitudes y elevaciones ortométricas.



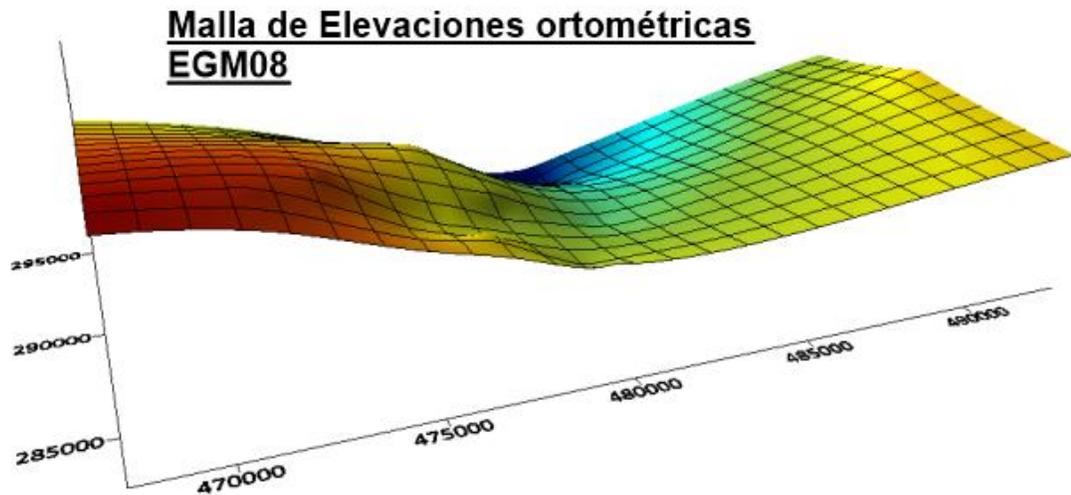
Imágen 7.29: Informe de coordenadas EGM08.

A continuación, se presenta la tabla resumen con las elevaciones ortométricas obtenidas por el software Trimble Total Control.

Tabla 7.1: Elevaciones ortométricas usando modelo geoidal EGM08

N°	BM	ELEVACION ORTOMÉTRICAS
1	DD-2	720.1198
2	DD-4	768.3054
3	DD-6	828.4188
4	DD-8	892.2297
5	DD-12	924.8419
6	A-78	761.8748
7	CRISTO DE LA PAZ	708.9658
8	IJJ-73	676.6516
9	IJD-6	754.8672
10	DA-1	756.2604
11	DA- CONSTITUCION 1	754.1198
12	DA-3	740.7288
13	DA-14	492.7703
14	DA-26	638.9583
15	SG-6	702.0627
16	SG-7	676.6771
17	DA-9	490.6941
18	D- HOSPITAL MILITAR	687.6448
19	D-21	733.0800
20	D-26	707.0177
21	D-27	724.7156
22	WW-207	826.8353
23	WW-221	855.2776
24	WW-227	756.7323
25	WW-252	723.8685
26	M-145	615.7459
27	M-150	527.2485
28	M-152	475.7223
29	M-153	459.5814

Malla de elevaciones ortométricas usado modelo geoidal EGM08



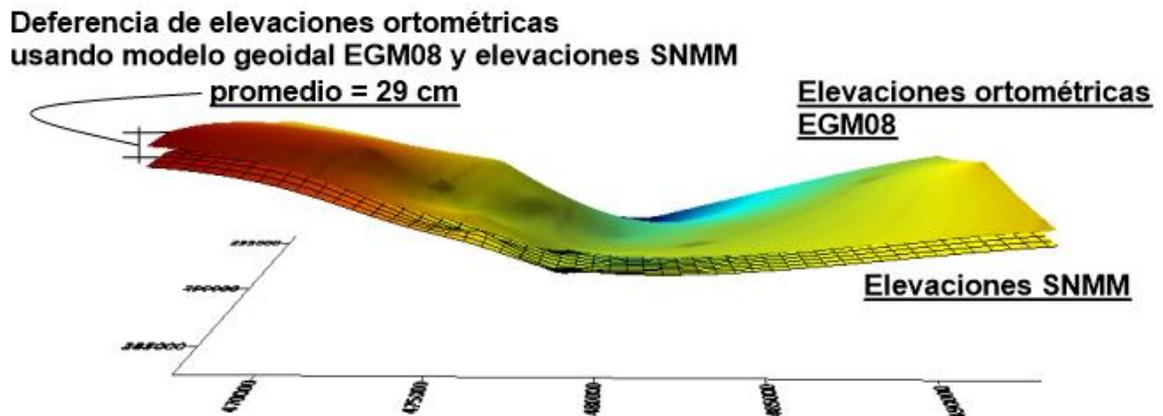
Imágen 7.30: Malla de elevaciones ortométricas EGM08.

Diferencia entre elevaciones ortométricas con modelo geoidal EGM08 y elevaciones sobre el nivel medio del mar.

Como se muestran los resultados en la siguiente tabla:

Tabla 7.2: Diferencia de elevaciones ortométricas y elevaciones SNMM

Elevaciones SNMM (m)	Elevaciones ortométricas EGM08	Diferencia (m)
719.9657	720.1198	0.1541
768.0809	768.3054	0.2245
828.1851	828.4188	0.2337
891.7282	892.2297	0.5015
924.5480	924.8419	0.2939
761.8195	761.8748	0.0553
708.8065	708.9658	0.1593
675.8012	676.6516	0.8504
754.8517	754.8672	0.0155
756.0656	756.2604	0.1948
753.9293	754.1198	0.1905
740.5275	740.7288	0.2013
492.4477	492.7703	0.3226
638.6460	638.9583	0.3123
701.6880	702.0627	0.3747
676.5205	676.6771	0.1566
490.3804	490.6941	0.3137
687.4569	687.6448	0.1879
732.8293	733.08	0.2507
706.8284	707.0177	0.1893
724.4923	724.7156	0.2233
826.3907	826.8353	0.4446
854.4482	855.2776	0.8294
756.4866	756.7323	0.2457
723.6100	723.8685	0.2585
615.4647	615.7459	0.2812
526.9428	527.2485	0.3057
475.4055	475.7223	0.3168
459.2594	459.5814	0.3220
	promedio	0.2900

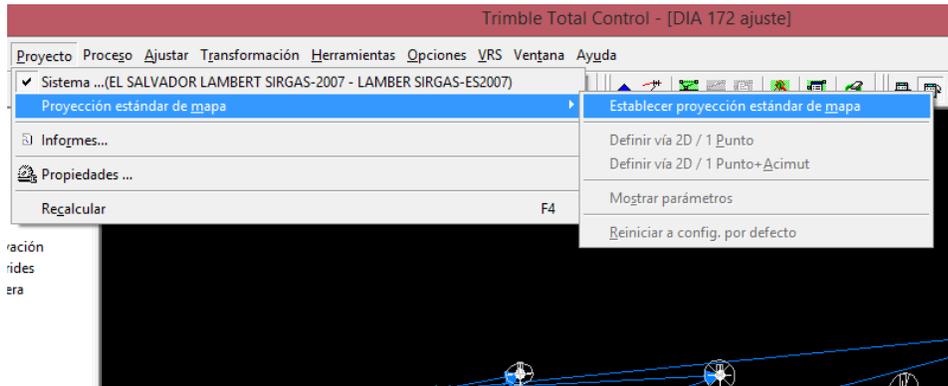


Imágen 7.31: Malla entre elevaciones ortométricas EGM08 y elevaciones SNMM

7.2 Cálculo de elevaciones Ortométricas utilizando modelo geoidal EGM96.

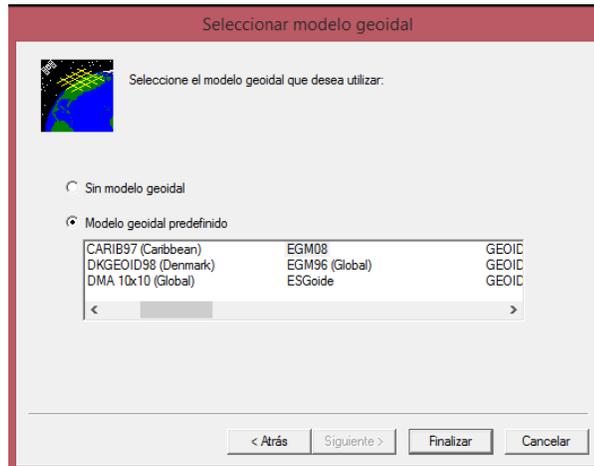
Calculo de elevación ortométricas usando el software Trimble Total Control.

Para la obtención de las elevaciones ortométricas usando modelo geoidal EGM96 debemos regresar a la proyección estándar de mapa, para ello nos vamos a proyecto, sistema, proyección estándar de mapa y establecer proyección estándar de mapa y mantener coordenadas WGS-84. Como se muestra en la imagen 7.27.



Imágen 7.32: Ruta a seguir para regresar a proyección estándar de mapa.

Nuevamente debemos seleccionar el sistema de coordenadas EL SALVADOR LAMBERT SIRGAS-2007 tal y como lo hicimos anteriormente, con la diferencia que en esta vez seleccionaremos el modelo geoidal EGM96; este modelo geoidal ya lo tiene incorporado el software Trimble Total Control. Nos dirigimos nuevamente a la pestaña proyecto, sistema, nuevo sistema, sistema de coordenadas y zona; seleccionamos EL SALVADOR LAMBERT SIRGAS-2007 (imágenes 7.20, 7.21 y 7.22) y en modelo geoidal seleccionamos EGM96, finalizar y mantener coordenadas WGS-84.



Imágen 7.33: Selección de modelo geoidal EGM96.

Nuestro sistema ya se encuentra con LAMBERT SIRGAS y modelo geoidal EGM96; para la obtención de elevaciones ortométricas, nuevamente nos dirigimos a proyecto, informe, repaso de coordenadas. Imágenes 7.25 y 7.26.

Nos presentará nuevamente el informe con coordenadas, altitudes y elevaciones ortométricas.

Trimble *Revisión de Coordenadas*

www.trimble.com Copyright (C) 2001 - 2002 by Trimble Navigation Limited

DIA 172 ajuste

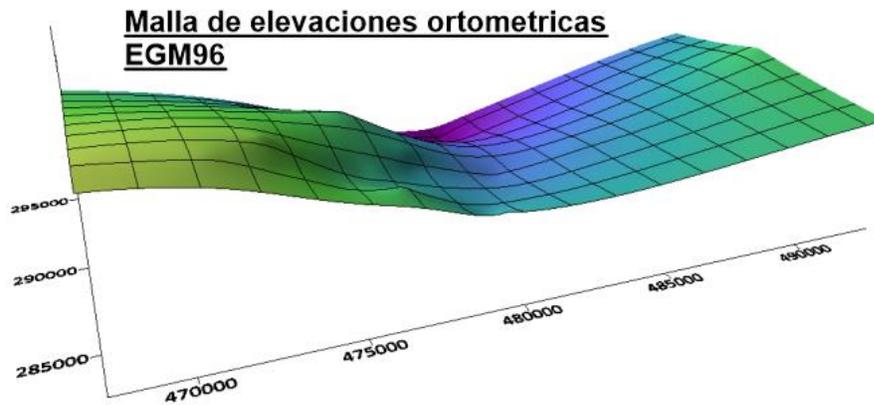
Nombre del usuario	macc2088@hotmail.com	Fecha y hora	10:20:7 19/9/2020
Sistema de coordenadas	EL SALVADOR LAMBERT SIRGAS-2007	Zona	LAMBER SIRGAS-ES2007
Datum del proyecto	SIRGAS-ES2007.8	Modelo de geoide	EGM96 (Global)
Unidades de coordenadas	Metro		
Unidades de distancia	Metro		
Unidades de altitud	Metro		
Unidades de ángulo	Grados		
Aviso	El proyecto contiene coordenadas no calculadas		

Imágen 7.34: Informe de coordenadas EGM96.

Tabla 7.3: Elevaciones ortométricas usando modelo geoidal EGM96

N°	BM	ELEVACION ORTOMÉTRICAS
1	DD-2	720.4605
2	DD-4	768.6497
3	DD-6	828.7604
4	DD-8	892.561
5	DD-12	925.1366
6	A-78	761.9209
7	CRISTO DE LA PAZ	709.3006
8	IJJ-73	676.9814
9	IJD-6	755.2119
10	DA-1	756.5855
11	DA- CONSTITUCION 1	754.3787
12	DA-3	740.9548
13	DA-14	492.7538
14	DA-26	639.1373
15	SG-6	702.3428
16	SG-7	676.9816
17	DA-9	490.6818
18	D- HOSPITAL MILITAR	687.9615
19	D-21	733.4108
20	D-26	707.3424
21	D-27	725.0475
22	WW-207	827.1618
23	WW-221	855.6062
24	WW-227	757.0652
25	WW-252	724.2015
26	M-145	616.0052
27	M-150	527.3231
28	M-152	475.7324
29	M-153	459.5654

Malla de elevaciones ortométricas usado modelo geoidal EGM96.



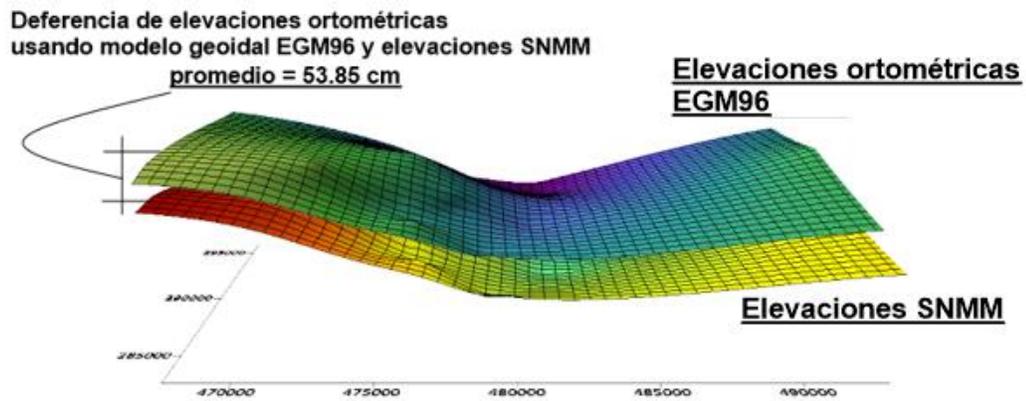
Imágen 7.35: Malla de elevaciones ortométricas EGM08.

Diferencia entre elevaciones ortométricas con modelo geoidal EGM96 y elevaciones sobre el nivel medio del mar.

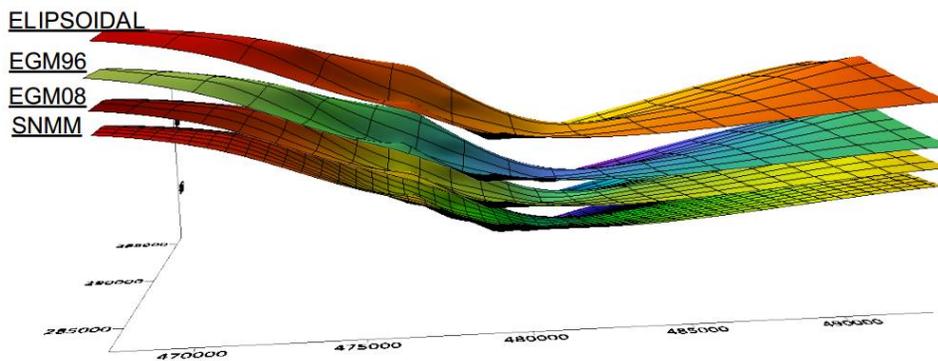
Tabla 7.4: Diferencia de elevaciones ortométricas y elevaciones SNMM

Elevaciones SNMM (m)	Elevaciones ortométricas EGM96	Diferencia (m)
719.9657	720.4605	0.4948
768.0809	768.6497	0.5688
828.1851	828.7604	0.5753
891.7282	892.561	0.8328
924.5480	925.1366	0.5886
761.8195	761.9209	0.1014
708.8065	709.3006	0.4941
675.8012	676.9814	1.1802
754.8517	755.2119	0.3602
756.0656	756.5855	0.5199
753.9293	754.3787	0.4494
740.5275	740.9548	0.4273
492.4477	492.7538	0.3061
638.6460	639.1373	0.4913
701.6880	702.3428	0.6548
676.5205	676.9816	0.4611
490.3804	490.6818	0.3014
687.4569	687.9615	0.5046

732.8293	733.4108	0.5815
706.8284	707.3424	0.5140
724.4923	725.0475	0.5552
826.3907	827.1618	0.7711
854.4482	855.6062	1.1580
756.4866	757.0652	0.5786
723.6100	724.2015	0.5915
615.4647	616.0052	0.5405
526.9428	527.3231	0.3803
475.4055	475.7324	0.3269
459.2594	459.5654	0.3060
	promedio	0.5385



Imágen 7.36: Malla entre elevaciones ortométricas EGM96 y elevaciones SNMM



Imágen 7.37: Mallas de elevaciones SNMM, EGM08, EGM96 y Elipsoidal.

Calculo de elevación ortométricas usando calculadora geodésica.

Debido a que en muchas ocasiones no se cuenta con el software Timbre Total Control o para trabajos que no se necesita una precisión alta como por ejemplo en carretera terciaria, se puede utilizar una calculadora geodésica que se encuentra en la web. Esta nos sirve para convertir las elevaciones elipsoidales a elevaciones ortométricas usando los modelos geopotenciales EGM08 y EGM96.

Para esto necesitamos la altitud, longitud y la elevación elipsoidal; datos que se puede obtener mediante un navegador GPS.

Calculadora geodésica usando EGM96.

Para esta la podemos encontrar en la siguiente dirección web:

<https://www.unavco.org/software/geodetic-utilities/geoid-height-calculator/geoid-height-calculator.html>

Se nos abrirá la siguiente agina:

Imágen 7.38: Calculadora geodésica EGM96.

Donde introducimos la latitud, longitud y elevación del GPS.

Para este ejemplo introduciremos los datos obtenidos del BM DD2

Latitud: 13.68898 Longitud: -89.21792 Elevación Elipsoidal: 721.5497

Dándole clic en “Submit” y nos dirigirá a la siguiente página en la cual aparecerá la elevación ortométrica.

Imágen 7.39: Altura ortométricas EGM96.

En la siguiente tabla se muestran todas las elevaciones ortométricas usando calculadora geodésica con modelo geopotencial EGM96.

Tabla 7.5: Elevaciones ortométricas usando calculadora geodésica EGM96

BM	Altitud	Longitud	E. Elipsoidal	EGM96
DD-2	13.68897503	-89.21792497	721.5497	720.4687
DD-4	13.68339319	-89.23185027	769.6913	768.6563
DD-6	13.68486979	-89.24852028	829.7864	828.7654
DD-8	13.68493306	-89.26664966	893.5627	892.5657
DD-12	13.68090614	-89.29975119	926.0698	925.1418
DA-9	13.78593463	-89.1982014	492.2721	490.6831
CRISTO DE LA PAZ	13.68180343	-89.19048537	710.3137	709.2367
IIJ-73	13.67443165	-89.19422559	678.0233	676.9893
IIJD-6	13.68181144	-89.21596098	756.266	755.2200
DA-1	13.70791916	-89.22685409	757.7612	756.5932
CONSTITUCION 1	13.72938661	-89.21933476	755.6725	754.3855
DA-3	13.73936219	-89.2173837	742.3002	740.9602
DA-14	13.7757067	-89.16080172	494.3393	492.7573
DA-26	13.71508636	-89.14657966	640.4446	639.1456
SG-6	13.71517227	-89.2037652	703.5851	702.3511
SG-7	13.70703799	-89.20399763	678.1821	676.9901
A-78	13.73379329	-89.06438793	763.4056	761.9246
HOSPITAL MILITAR	13.69982886	-89.20757526	689.1204	687.9704
D-21	13.70119857	-89.22338031	734.5566	733.4186
D-26	13.70037829	-89.21340599	708.4968	707.3508
D-27	13.70086786	-89.21855091	726.1978	725.0558
WW-207	13.703135	-89.24530841	828.2875	827.1675
WW-221	13.70007892	-89.24981219	856.7097	855.6117
WW-227	13.69699669	-89.23068544	758.1795	757.0725
WW-252	13.69880176	-89.22168072	725.3371	724.2091
M-145	13.70931059	-89.17701274	617.2494	616.0144
M-150	13.75656973	-89.16606498	528.8124	527.3284
M-152	13.77128512	-89.16604689	477.2914	475.7354
M-153	13.7784793	-89.16968224	461.1541	459.5681

Comparación de elevaciones ortométricas entre Trimble Total Control y calculadora geodésica, usando modelo geoidal EG96.

Tabla 7.6: Diferencia de elevaciones ortométricas entre software y calculadora geodésica

BM	SOFTWARE TRIMBLE TOTAL CONTROL	CALCULADORA GEODÉSICA	DIFERENCIA
DD-2	720.4605	720.4687	0.0082
DD-4	768.6497	768.6563	0.0066
DD-6	828.7604	828.7654	0.0050
DD-8	892.561	892.5657	0.0047
DD-12	925.1366	925.1418	0.0052
DA-9	490.6818	490.6831	0.0013
CRISTO DE LA PAZ	709.3006	709.3029	-0.0639
IJJ-73	676.9814	676.9893	0.0079
IJJD-6	755.2119	755.2200	0.0081
DA-1	756.5855	756.5932	0.0077
DA- CONSTITUCION 1	754.3787	754.3855	0.0068
DA-3	740.9548	740.9602	0.0054
DA-14	492.7538	492.7573	0.0035
DA-26	639.1373	639.1456	0.0083
SG-6	702.3428	702.3511	0.0083
SG-7	676.9816	676.9901	0.0085
A-78	761.9209	761.9246	0.0037
D- HOSPITAL MILITAR	687.9615	687.9704	0.0089
D-21	733.4108	733.4186	0.0078
D-26	707.3424	707.3508	0.0084
D-27	725.0475	725.0558	0.0083
WW-207	827.1618	827.1675	0.0057
WW-221	855.6062	855.6117	0.0055
WW-227	757.0652	757.0725	0.0073
WW-252	724.2015	724.2091	0.0076
M-145	616.0052	616.0144	0.0092
M-150	527.3231	527.3284	0.0053
M-152	475.7324	475.7354	0.0030
M-153	459.5654	459.5681	0.0027
		Promedio	0.0062

Se observa que el promedio de diferencia de elevaciones ortométricas entre el software Trimble Total Control y la calculadora geodésica usando modelo geoidal EGM96 es de 0.62 cm.

CAPÍTULO VIII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Al realizar todos los procedimientos necesarios para obtener las elevaciones elipsoidales mediante el levantamiento con equipo GPS de 29 bancos de marca distribuidos en el área metropolitana de San Salvador, se obtiene la ondulación geoidal que es la diferencia entre la elevación elipsoidal obtenida en el procesamiento de datos mediante el software Trimble Total Control y la elevación sobre el nivel medio del mar proporcionados por el CNR de cada uno de los bancos de marca. El promedio de la ondulación geoidal de los 29 bancos de marca en estudio es de 1.76 metros. Este dato nos sirve al momento de obtener elevaciones elipsoidales al utilizar un navegador GPS en el AMSS, saber que esta elevación está en promedio 1.76 metros arriba de la elevación sobre el nivel medio del mar en ese punto.
- Para la obtención de las elevaciones ortométricas se utilizó modelos de geoide mundiales EGM96 y EGM08, siendo más preciso el modelo geoidal EGM08 ya que los resultados obtenidos con este modelo se acercan más a las elevaciones sobre el nivel medio del mar. El promedio de las diferencias de elevaciones ortométricas con las

elevaciones sobre el nivel medio del mar nos dan de 54 centímetros con el modelo geoidal EGM96 y 29 centímetros con el EGM08. Con estas elevaciones ortométricas y siendo más preciso con el modelo geoidal EGM08 podemos obtener resultados que se acercan más a las elevaciones sobre el nivel medio del mar.

- Los resultados obtenidos, tanto la elevación geoidal como las elevaciones ortométricas se pueden utilizar en obras o proyectos que no se necesiten una precisión alta, tales como nivelación de carreteras terciarias, canales para riego bajo gravedad, drenajes, etc. Aunque los resultados no sean exactos, se puede utilizar confiablemente puesto que se acercan a los niveles medios de mar.
- Con las mallas de nivelación obtenidas se puede observar claramente la diferencia entre las elevaciones ortométricas para los dos modelos de geoide mundiales y las elevaciones elipsoidales, con respecto a las elevaciones sobre el nivel medio del mar. Primeramente, se encuentre la nivelación SNMM, 29 centímetros arriba está la malla con las elevaciones ortométricas EGM08, 54 centímetros más alto se encuentra las elevaciones ortométricas EGM96 y por último 1.76 metros están las elevaciones elipsoidales.

RECOMENDACIONES

- A pesar de los resultados obtenidos se deben de hacer más estudios de los bancos de marca del área metropolitana de San Salvador, ya que para obtener un resultado mucho más concluyente de la elevación geoidal, se necesita un estudio de una mayor cantidad y distribuidos de puntos, además del estudio de estos mismo, en diferentes meses del año para comparar la variación con respecto al tiempo.
- Para los programas Trimble Total Control, Surfer, Global Mapper, QGis, ArcGis entre otros; que generan modelos digitales del terreno, es necesario explorarlos más ya que estos tienen muchas funciones, comandos, técnicas entre otros que no se han tocado en esta investigación, por tanto, se recomienda explorarlos más y así obtener mejores resultados.
- Los resultados obtenidos tanto en esta investigación como en otras de la misma índole sean utilizados para proyectos que no necesiten de mucha precisión.
- Se recomienda para investigaciones futuras, realizar un modelo geoidal local para nuestro país de uso libre. Así se podrán obtener resultados mucho más precisos (resultados hasta los mm). Actualmente hay un modelo geoidal local, pero es uso exclusivo del CNR.

BIBLIOGRAFÍA

Libros consultados:

- Eduardo Huerta, Mangiaterra y Noguera (2005). GPS Posicionamiento Satelital, Rosario, Argentina: UNR Editora.
- GNSS: GPS, GALILEO, GLONASS, BEIDOU Fundamentos y métodos de posicionamiento. José Lui Berné Valero, Natalia Garrido Villén, Raquel Capilla Romá.
- Elementary Surveying an introduction to geomatics, Charles D, Ghilani, Paul R. Wolf.
- INTRODUCCIÓN A LA TOPOGRAFÍA Y GEODESIA, Julio Manuel de Luis Ruiz

Tesis:

- TÉCNICAS DE MEDICIÓN TOPOGRÁFICAS CON GPS DE DOBLE FRECUENCIA Y SU PROCESAMIENTO CON EL SOFTWARE CARLSON SURVEY GNSS. Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.
- Ciencia, tecnología, y sociedad: entorno global en el desarrollo del GPS. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
- DETERMINACION DE UN MODELO DE GEOIDE GRAVIMETRICO PARA PUERTO RICO COMO SISTEMA DE REFERENCIA PARA LAS ALTITUDES ORTOMETRICAS, universidad politécnica de Madrid, Madrid, España

- 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. San Salvador, El salvador.
- DETERMINACION GEOMETRICA DE LA ONDULACION DEL GEOIDE A LO LARGO DE UN TRAMO DE LA REDNAP, OCAÑA-CUENTA Y SU COMPARACION CON EL GEOIDE GEOMETRICO, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid España.
- GENERACIÓN DE UNA MALLA DE ONDULACIONES GEOIDALES POR EL MÉTODO GPS/NIVELACIÓN Y REDES NEURONALES ARTIFICIALES A PARTIR DE DATOS DISPERSOS, La Plata, provincia de Buenos Aires, Argentina

Referencias

- China Geodetic Coordinate System 2000
- Furones, A. (2011). Sistema y Marco de Referencia Terrestre, Valencia, España.

Páginas web:

- <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/guide-books/map-projections/datums.htm>
- <http://files.especializacion-tig.webnode.com/200000061-42e0043dac/TEMA10-Métodos.pdf>

- <https://www.anfrix.com/2008/08/viendo-el-mundo-desde-una-proyeccion-mas-precisa/>
- <https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/Geodesia/Introduccion>
- <https://alfageomatics.com/que-es-el-geoide-y-el-elipsoide/>
- <http://www.ngs.noaa.gov/CORS/>