

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



**ANÁLISIS COMPARATIVO DE MODELOS DIGITALES
DE TERRENO OBTENIDOS CON TÉCNICAS
SATELITALES GNSS Y ESTACIÓN TOTAL**

PRESENTADO POR:

LÓPEZ MENJÍVAR, NOÉ ALEXANDER

RAMÍREZ LEMUS, HENRRY NOÉ

ROSA RAMÍREZ, EBER MANRIQUE

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, NOVIEMBRE 2021

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

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

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO CIVIL

Título :

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE MODELOS DIGITALES
DE TERRENO OBTENIDOS CON TÉCNICAS
SATELITALES GNSS Y ESTACIÓN TOTAL**

Presentado por :

LÓPEZ MENJÍVAR, NOÉ ALEXANDER

RAMÍREZ LEMUS, HENRRY NOÉ

ROSA RAMÍREZ, EBER MANRIQUE

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

ING. WILFREDO AMAYA ZELAYA

San Salvador, noviembre 2021

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

ING. WILFREDO AMAYA ZELAYA

AGRADECIMIENTOS

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

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

Al Ing. Mauricio Ernesto Valencia y Ing. Jorge Oswaldo Rivera Flores, por brindarnos sus recomendaciones y su disposición de colaborar con el desarrollo del trabajo de graduación.

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

Dedicatoria por: Noé Alexander López Menjívar.

A Dios todo poderoso por protegerme, mantenerme con espíritu de ser un profesional y darme fuerzas en los momentos más difíciles.

A mis queridos padres: Sofía Menjívar y José Noel López por brindar su apoyo incondicional y con enorme sacrificio siempre apoyarme con todo lo que ha estado a su alcance.

A mis hermanos: Luis Fernando López y Brayan José López por haberme apoyado en lo que han podido durante mi estudio. A mi abuelita Rosa Menjívar, tía Norma Guardado y a mi prima Guadalupe Rivas por ser un apoyo incondicional y desearme siempre lo mejor.

A las familias: Menjívar Alas, Recinos Menjívar y Córdova Menjívar que creyeron en mí y en que llegaría a ser un profesional.

A todos los docentes que contribuyeron en mi desarrollo académico transmitiéndome sus conocimientos y experiencias, en especial al Ing. Wilfredo Amaya por su apoyo incondicional como asesor.

A mis queridos amigos quienes jugaron un papel muy importante y me apoyaron con todo lo que estuvo a su alcance: Esmeralda López, Carolina Alas, Yeni Martínez, Katherine González, Mary Melgar, Gustavo Andrade, Eber Ramírez, Mario Peralta, Miguel Anzora, José Leiva, Gerson Rauda, Amílcar Orellana, Roberto Nieto, Stanley Hernández, Oswaldo Ramírez.

Dedicatoria por: Eber Manrique Rosa Ramírez.

A Dios todo poderoso por brindarme la perseverancia y sabiduría necesaria para poder culminar con éxito todas las dificultades que en la carrera se enfrentan.

A mis amados padres: Rosa Edith Ramírez y Rodolfo Antonio Rosa por siempre darme su apoyo incondicional, moral y económicamente durante estos casi 6 años de preparación académica superior.

A mis abuelos Amanda Martínez y Jorge Ascensión Ramírez, que con su humildad y sencillez estuvieron siempre apoyándome durante mi carrera universitaria.

A mis hermanos: Osman Iván Rosa y Néstor Rodolfo Rosa por haberme apoyado en lo que han podido durante mi estudio.

A mi amada novia Emeli Alexandra Alas, así como a toda su familia especialmente a su tía Rosa Irma Alas y esposo, los cuales han sido un pilar fundamental durante toda mi formación profesional.

A toda mi familia, amigos y a todas las personas que de manera directa e indirectamente me apoyaron y creyeron en mí.

A mis amigos y compañeros con los que nos apoyamos de diversas maneras y disfrutamos diferentes experiencias: Noe López, Gustavo Andrade, Mario Peralta, José Leiva, Alcides Rivas, Roberto Flores y Rodrigo Mariona.

A todos los docentes que contribuyeron en mi preparación profesional, particularmente nuestro docente asesor el ingeniero Wilfredo Amaya.

Dedicatoria por: Henry Noé Ramírez Lemus.

A mis amados padres, José Mario Ramírez y María Delmy Lemus por creer en mí y brindarme ese apoyo ilimitado siempre, sin su esfuerzo, no estaría redactando estas palabras, este logro es definitivamente en su honor.

A mis hermanos, Karen Marisol Ramírez Lemus, Heidy Arely Ramírez Lemus y Mario Antonio Ramírez Lemus, gracias por acompañarme en esta trayectoria, por todos los consejos y las energías brindadas en las malas, la confianza depositada en mí y la paciencia.

A mi querida novia, Beralice Franco, por estar en ese preciso momento, por ayudarme a soñar más claro y permanente, y en especial, por las cosechas pendientes. A mis primos, Morena Lemus y Arnoldo Lemus, por levantarme en las caídas fuertes y desearme siempre lo mejor. A mi Tía Roxana Lemus por los granos de arena aportados para este proyecto formativo.

Al ingeniero Wilfredo Amaya Zelaya por llevar las riendas de esta investigación y compartir sus grandes conocimientos. A todos los docentes de mi querida Alma Mater en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura que colaboraron en mi formación. Al ingeniero Miguel Landaverde del área de Geotecnia de la Escuela de Ingeniería Civil por el apoyo brindado como docente y en mis horas sociales, Q.E.P.D.

A todos los colegas que me acompañaron en este largo camino de formación.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	V
Dedicatoria por: Noé Alexander López Menjivar.	VI
Dedicatoria por: Eber Manrique Rosa Ramírez.	¡Error! Marcador no definido.
Dedicatoria por: Henry Noé Ramírez Lemus.	¡Error! Marcador no definido.
INTRODUCCIÓN.	XXIII
CAPÍTULO I: GENERALIDADES	1
1.1 Antecedentes.	1
1.2 Planteamiento del problema.	4
1.3 Objetivos.	6
1.3.1 Objetivo general:	6
1.3.2 Objetivos específicos:	6
1.4 Alcances.	7
1.5 Justificación.	8
CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS TEÓRICOS.	9
2.1 Geodesia, definición.	9
2.1.1 Fundamentos básicos de geodesia.	9
2.1.2 Antecedentes Históricos de la Geodesia.	47
2.1.3 Objetivos e importancia de la Geodesia.	56
2.1.4 Levantamientos geodésicos con GNSS.	59
2.2 Unidades de medida.	69
2.3 Precisión y Exactitud.	70
2.4 Equipos con tecnología gnss.	71
2.5 Topografía.	73

2.5.1 Fundamentos básicos de Topografía.	73
2.5.2 Antecedentes históricos de la topografía.	74
2.5.3 Objetivos e importancia de la topografía.	76
2.5.4 Levantamientos topográficos	78
2.5.4.1 Método por radiación.	80
2.5.4.2 Método por poligonación.	81
2.5.4.2.1 Poligonal abierta.	82
2.5.4.2.2 Poligonal abierta con control geodésico.	83
2.5.4.2.3 Poligonal cerrada.	84
2.6 Errores lineales y angulares.	85
2.7 Unidades de medida.	89
2.8 Precisión y exactitud.	93
2.9 Incertidumbre, error y tolerancia.	97
2.10 Equipos topográficos.	98
2.11 Tipos de modelos digitales.	102
2.11.1 Modelos Digitales de Superficie.	102
2.11.2 Modelos Digitales de Elevación (MDE).	104
2.11.3 Modelos Digitales de Terreno.	106
2.12 Los Modelos Digitales de Terreno (MDT), definición.	107
2.13 El origen de los Modelos Digitales de Terreno.	107
2.14 Modelos Digitales y Modelos Analógicos.	109
2.15 Estructura de datos de los MDT.	110
2.16 Captura de insumos para la generación de los MDT.	113
2.17 Aplicación de los MDT.	119
CAPITULO III: OBTENCIÓN DE DATOS DE CAMPO	123
3.1 Descripción del lugar en estudio.	123

3.2 Metodología para la recolección de datos de campo con estación total.	130
3.3 Levantamiento topográfico con Estación Total.	132
3.3.1 Guía básica del uso de la Estación Total y su configuración.	132
3.3.2 Guía básica del uso del colector de datos y configuración	138
3.3.3 Datos obtenidos con Estación Total.	166
3.4 Obtención de datos con técnicas gnss.	180
3.4.1 Metodología para la recolección de datos con técnicas GNSS.	181
3.4.2 Guía básica para el uso de los equipos GNSS utilizando la técnica rtk.	181
3.4.3 Datos obtenidos con técnica RTK.	198
CAPÍTULO IV: PROCESAMIENTO DE DATOS DE CAMPO	212
4.1 Software de procesamiento de datos de campo.	212
4.2 Elaboración de un MDT con Surfer.	215
CAPÍTULO V: ANALISIS DE RESULTADOS	228
5.1 Comparación de resultados obtenidos con Estación Total y GPS.	229
5.2 Comparación de los MDT.	235
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	244
6.1 Conclusiones.	244
6.2 Recomendaciones.	247
BIBLIOGRAFÍA.	249
ANEXOS	250
GLOSARIO TÉCNICO:	251

ÍNDICE DE FIGURAS:

Figura 2.1: Geodesia geométrica.....	10
Figura 2.2: Gravímetro.....	11
Figura 2.3: Esfera celeste.....	13
Figura 2.4: Geodesia Astronómica.....	14
Figura 2.5: Geodesia Espacial o Satelital.....	15
Figura 2.6: Microgeodesia.....	15
Figura 2.7: Elipsoide de revolución.....	16
Figura 2.8: Geoide, Elipsoide y Topografía.....	19
Figura 2.9: Superficie equipotencial del campo de gravedad.....	20
Figura 2.10: El Geoide.....	21
Figura 2.11: Geoide y Elipsoide.....	22
Figura 2.12: Coordenadas de un punto P en el elipsoide.....	23
Figura 2.13: Desviación de la vertical.....	25
Figura 2.14: Relación entre altura Geoidal y altura Elipsoidal.....	26
Figura 2.15: Representación 3D del geoide de El Salvador.....	27
Figura 2.16: Elementos de un Sistema de Referencia Geodésico.....	¡Error!
Marcador no definido.	
Figura 2.17: Datum Geocéntrico WGS-84.....	29
Figura 2.18: Segmento de mapa con Datum NAD 27.....	30
Figura 2.19: Estación de Triangulación Meades Ranch E.U.....	32

Figura 2.20: Nivel medio del mar como superficie de referencia.	34
Figura 2.21: Determinación de nivel cero para altimetría.....	35
Figura 2.22: Modelo Geoidal Mundial EGM-96.....	36
Figura 2.23: Modelo Geoidal Mundial EGM-08.....	38
Figura 2.24: Modelo Geoidal definitivo de El Salvador.	40
Figura 2.25: Sistema de referencia Local y Geocéntrico.	42
Figura 2.26: ITRF.....	44
Figura 2.27: SIRGAS-CON.....	45
Figura 2.28:Densificación del marco de referencia SIRGAS para El Salvador	47
Figura 2.29: La Tierra según los Babilonios (500 AC).	48
Figura 2.30: La Tierra según Tales de Mileto (625-546 AC).	49
Figura 2.31: La Tierra según Anaximandro (610-547 AC). ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 2.32: La Tierra según Anaxímenes (570-500 AC).	50
Figura 2.33: Razonamiento Pitagórico (582-500 AC).	51
Figura 2.34: Método de los arcos de Eratóstenes.....	53
Figura 2.35: Forma esferoide de La Tierra.	55
Figura 2.36: Objetivos e importancias de la geodesia.	57
Figura 2.37: Método Estático.	59
Figura 2.38: Observación Método Estático.	61
Figura 2.39: Observación Método Estático Rápido.....	63

Figura 2.40: Método Cinemático.....	64
Figura 2.41: Método Pseudo-Cinemático.....	66
Figura 2.42: Parámetros de LAMBERT SIRGAS-ES2007.....	70
Figura 2.43: Receptores GNSS marca Trimble.....	72
Figura 2.44: Colectores de información marca TRIMBLE.....	72
Figura 2.45: Bastón y trípode.....	73
Figura 2.46: Relación de la topografía con otras ciencias.	77
Figura 2.47: Representación de método de levantamiento topográfico por Radiación. Fuente: Topografía moderna con Estación Total y colector Tds Recon Survey.....	80
Figura 2.48: Representación de método de levantamiento topográfico por Poligonación	82
Figura 2.49: Representación de poligonal abierta.....	83
Figura 2.50: Puntos de control en una Poligonal abierta.	84
Figura 2.51: Representación de Poligonal cerrada.	85
Figura 2.52: Representación de error de cierre en Poligonal abierta.....	85
Figura 2.53: Unidades de medida angulares.	90
Figura 2.54: Azimut de una línea.	92
Figura 2.55: Rumbo de una línea.....	93
Figura 2.56: Alto grado de precisión y exactitud.	95
Figura 2.57: Precisión similar que A, pero menor exactitud.....	95
Figura 2.58: Precisión baja y exactitud alta.	96

Figura 2.59: Precisión baja y exactitud alta.	96
Figura 2.60: Gráfica probabilística de precisión y exactitud.....	97
Figura 2.61: Teodolito analógico.....	98
Figura 2.62: Teodolito digital.....	99
Figura 2.63: Estación total.	100
Figura 2.64: Detección y alcance de luz aérea (LIDAR).	102
Figura 2.65: Modelo Digital de Superficie (con vegetación presente en el suelo).	104
Figura 2.66: Modelo Digital de Elevación.....	105
Figura 2.67: Modelo Digital de Terreno,.....	107
Tabla 2.6: Comparación de algunas propiedades diferenciales entre los modelos analógicos del terreno (MAT) y los modelos digitales (MDT).....	110
Figura 2.68: Estructuras de Datos de los Modelos Digitales del Terreno.	113
Figura 2.69: Métodos de captura de información altimétrica.	114
Figura 2.70: Escaneo de la superficie terrestre con tecnología Lidar,	117
Figura 3.1: Ubicación del área de trabajo. Fuente: Propia.	123
Tabla 3.2: Materiales según formación geológica.....	125
Figura 3.3: Materiales según formación geológica.....	125
Figura 3.4: Estratigrafía de TBJ.	128
Figura 3.5: Esquema representativo de la constante de prisma. Fuente: Propia.	134

Figura 3.6: Calibración de constante de prisma en estación total. Fuente: Propia.	135
Figura 3.7: Calibración de constante de prisma. Fuente: Propia.	136
Figura 3.8: Configuración de Baudios en estación total y colector. Fuente: Propia.	137
Figura 3.9: Opción de apertura de archivo. Fuente: Propia.	138
Figura 3.10: Apertura de un nuevo trabajo. Fuente: Propia.	139
Figura 3.11: Nombre del archivo. Fuente: Propia.	139
Figura 3.12: Configuración de unidades de medida. Fuente: Propia.	140
Figura 3.13: Configuración de coordenadas de punto ocupado. Fuente: Propia.	140
Figura 3.14: Configuración de sincronización Colector-Estación. Fuente: Propia.	141
Figura 3.15: Creación de un nuevo instrumento. Fuente: Propia.	142
Figura 3.16: Selección de la marca del equipo. Fuente: Propia.	142
Figura 3.17: Selección del modelo del equipo. Fuente: Propia.	143
Figura 3.18: Configuración de Baudios en estación total y colector. Fuente: Propia.	144
Figura 3.19: Configuraciones estáticas. Fuente: Propia.	144
Figura 3.20: Ingreso a sección B. Fuente: Propia.	145
Figura 3.21: Insertar punto No 2. Fuente: Propia.	146
Figura 3.22: Nombre y descripción de punto. Fuente: Propia.	146

Figura 3.23: Coordenadas de punto de amarre. Fuente: Propia.....	147
Figura 3.24: Configuración de vista atrás (Backsight). Fuente: Propia.	148
Figura 3.25: Menú vista atrás (Backsight). Fuente: Propia.	148
Figura 3.26: Selección del punto ocupado. Fuente: Propia.	149
Figura 3.27: Selección del punto para vista atrás. Fuente: Propia.....	150
Figura 3.28: Backsight configurado. Fuente: Propia.	150
.....	151
Figura 3.29: Puesta en cero para línea base, pantalla generada por "Circle". Fuente: Propia.	151
Figura 3.30: Pantalla generada por "Solve". Fuente: Propia.....	152
.....	152
Figura 3.31: Definición de línea base. Fuente: Propia.	152
Figura 3.32: Ingreso de nombre y descripción de punto y Side Shot. Fuente: Propia.	153
Figura 3.33: Uso de Traverse. Fuente: Propia.....	155
Figura 3.34: Confirmación de movimiento del equipo. Fuente: Propia.....	155
Figura 3.35: Ingreso de nueva altura de aparato. Fuente: Propia.....	156
Figura 3.36: Sección 4, ajuste de poligonal. Fuente: Propia.....	159
Figura 3.37: Selección del método de ajuste. Fuente: Propia.....	159
Figura 3.38: Definición del rango de puntos. Fuente: Propia.	160
Figura 3.39: Confirmación para seguir ajuste. Fuente: Propia.....	160
Figura 3.40: Selección del tipo de poligonal. Fuente: Propia.	161

Figura 3.41: Ajustar poligonal. Fuente: Propia.	162
Figura 3.42: Finalizar ajuste. Fuente: Propia.	162
Figura 3.43: Sección D, exportar datos. Fuente: Propia.	163
Figura 3.44: Selección del formato de datos. Fuente: Propia.	164
Figura 3.45: Editar rango de datos.Figura 3.46: Ingreso de rango de datos-..	164
Fuente: Propia.	164
Figura 3.47: Edición del formato de datos. Fuente: Propia.	165
Figura 3.48: Formato de exportación. Fuente: Propia.....	165
Figura 3.49: Nombrar el archivo. Fuente: Propia.	166
Figura 3.50: Enroscado de cable de antena a equipo. Fuente: Propia.	182
Figura 3.51: Enroscado de antena a dispositivo. Fuente: Propia.....	183
Figura 3.53: Colocado de cable de alimentación al equipo. Fuente: Propia. ..	183
Figura 3.52: Colocado de batería externa al equipo. Fuente: Propia.....	183
Figura 3.54: Rover armado en bastón con burbuja. Fuente: Propia.	184
Figura 3.56: Nombre de proyección. Fuente: Propia.	185
Figura 3.55: Ingreso a Localización. Fuente: Propia.....	185
Figura 3.57: Ingreso de parámetros de Sistema de Referencia Local. Fuente: Propia.	186
Figura 3.58: ingresos de parámetros y selección de sistema creado. Fuente: Propia.	186
Figura 3.59: Activar Bluetooth y crear nuevo trabajo. Fuente: Propia.....	187
Figura 3.60: Nombre de proyección y sistema de unidades. Fuente: Propia..	188

Figura 3.61: Configuración de Base y selección del tipo de equipo. Fuente: Propia.	188
Figura 3.62: Configuración de la conexión. Fuente: Propia.	189
Figura 3.63: Selección del equipo a conectar y tipo de puerto. Fuente: Propia.	190
Figura 3.65: Medición de altura de antena. Fuente: Propia.	191
Figura 3.64: Ingreso de altura de antena y máscara. Fuente: Propia.	¡Error!
Marcador no definido.	
Figura 3.66: Selección del tipo de antena y tecla de ingreso de coordenadas. Fuente: Propia.	192
Figura 3.67: Ingreso de coordenadas de punto fijo, nombre y descripción. Fuente: Propia.	192
Figura 3.68: Ingreso a sección 3 (Rover). Fuente: Propia.	193
Figura 3.69: Configuración de conexión del Rover ingreso de altura de equipo y máscara. Fuente: Propia.....	194
Figura 3.70: Selección del tipo de antena e inicio de levantamiento. Fuente: Propia.	194
Figura 3.71: Captura de punto y almacenamiento. Fuente: Propia.....	196
Figura 3.72: Sección 7 y exportación de fichero levantado. Fuente: Propia. ..	197
Figura 3.73: Formato de datos y asignación de nombre a nuestro archivo de exportación. Fuente: Propia.....	197
Figura 4.1.: Superposición de mapas en Surfer.....	212

Figura 4.2: Mapas generados con Surfer.....	214
Figura 4.3: Interfaz de inicio de Surfer	215
Figura 4.4: Interfaz principal Surfer.....	216
Figura 4.5: Uso del comando Grid	216
Figura 4.6: Selección del archivo de datos	217
Figura 4.7: Selección de datos y configuración de Grid.....	218
Figura 4.8: Reporte de creación de Grid de manera correcta.....	219
Figura 4.9: Interfaz principal con la Grid ya creada.....	220
Figura 4.10: Creación del archivo grid en la carpeta seleccionada.....	220
Figura 4.11: Selección del archivo. grid para crear curvas de nivel.	221
Figura 4.12: Curvas de nivel	221
Figura 4.13: Curvas de nivel personalizadas	222
Figura 4.13: Curvas de nivel.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 4.14: Configuración de curvas	223
Figura 4.15: Ajuste de intervalo de curvas.....	223
Figura 4.16: Uso de comando Base.....	224
Figura 4.17: Selección de archivo base	224
Figura 4.18: Colores para polígono de lindero	¡Error! Marcador no definido.
Figura 4.19: Superposición curvas de nivel y polígono de lindero	225
Figura 4.20: Comando Surface	226
Figura 4.21: Selección de archivo grid que tenemos guardado.	226

Figura 4.22: MDT obtenido de Surfer con superposición de modelo 3D, curvas de nivel y polígono de lindero.	227
Figura 5.1 Grafico costos por método de medición.....	233
Figura 5.2 Grafico tiempo de medición de cada método.....	234
Figura 5.3 Modelo digital de terreno obtenido con datos de estación total	235
Figura 5.4 Modelo digital de terreno obtenido con datos GPS.....	236
Figura 5.5 Curvas de nivel	235
Figura 5.6 MDT obtenido con datos de internet.....	235
Figura 5.7 Superposición de perfil topográfico longitudinal obtenido de datos PGS y de Estación Total	238
Figura 5.8 Superposición de perfil topográfico Transversal obtenido de datos PGS y de Estación Total.....	239
Figura 5.9 Superposición de mapas de curvas de nivel, hidrológico y lindero. MDT obtenido con datos de GPS y Estacion Total.....	240
Figura 5.10 Superposición de mapas de curvas de nivel, hidrológico y lindero. MDT obtenido con datos de internet.....	240
Figura 5.11 Perfil longitudinal obtenido en Surfer	240
Figura 5.12 Perfil transversal obtenido en Surfer.....	242

ÍNDICE DE TABLAS:

Tabla 2.1: Elipsoides más usados.	18
Tabla 2.2: Parámetros de La Tierra WGS-84.....	22
Tabla 2.3: Elipsoides y sus Datum.....	33
Tabla 2.4: Errores permisibles máximos.....	88
Tabla 2.5: Precisión recomendada para levantamientos topográficos. Zelaya.	97
Tabla 3.1: Datos de poligonal de amarre obtenidos con estación total. Fuente: Propia.	167
Tabla 3.2: Datos de lindero obtenidos con estación total. Fuente: Propia.	169
Tabla 3.3: Datos de puntos de nivel obtenidos con estación total. Fuente: Propia.	180
Tabla 3.4: Datos de Poligonal de amarre técnica RTK. Fuente: Propia.....	198
Tabla 3.5: Datos de Lindero por medio de técnica RTK. Fuente: Propia.	200
Tabla 3.6: Datos de nivel por medio de técnica RTK. Fuente: Propia.....	211
Tabla 5.1 Datos obtenidos de la comparativa	228
Tabla 5.3 Costos de cada equipo usado.....	232
Tabla 5.4 Resumen de tiempo por método de medición.....	234

INTRODUCCIÓN.

El alto crecimiento de tecnologías modernas permite al ser humano avances a gran escala en todo ámbito, en el campo de la Ingeniería Civil, estas permiten la obtención de información de manera eficaz y muy precisa. Es por ello que a continuación se presenta un estudio donde se emplean dos equipos de medición de terrenos y modelación 3D como lo es la Estación Total y GPS de alta precisión en la obtención de datos para la elaboración de un Modelo Digital de Terreno (MDT). Apoyándonos en las redes geodésicas actualizadas en el país.

Se presentan las generalidades de la investigación y del tema en general, los antecedentes, planteamiento del problema, los objetivos, los alcances, limitaciones y la justificación de la investigación.

El fin primordial del estudio es proporcionar un documento con información precisa acerca de las ventajas de usos de Estación Total vrs GPS englobando tanto economía como precisión obtenida en los datos de campo.

La metodología a desarrollar en la investigación se estructura en cinco temas principales los cuales se detallarán minuciosamente empezando con una investigación bibliográfica, luego se plantean las pruebas de campo para uso correcto de equipos topográficos, después se pretende obtener la información

necesaria del Arenal de Mejicanos lugar escogido para la realizar el MDT, consiguientemente se realizará el procesamiento de los datos obtenidos en los software correspondiente y por último se presenta el análisis y la comparativa de los resultados obtenidos.

Finalmente se presentan las conclusiones a las que se llegó luego de la investigación y las recomendaciones en general sobre la manipulación y uso adecuado de los equipos usados y sobre el análisis de resultados obtenidos.

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1 Antecedentes.

La topografía se define como la ciencia que estudia el conjunto de principios y distintos procedimientos cuyo objetivo principal es la representación gráfica de la superficie terrestre incluyendo sus formas y detalles tanto naturales como artificiales. Dichas técnicas y procedimientos se han venido modernizando con el avance progresivo de la ciencia y sus aplicaciones, pasando de rudimentarios principios y procedimientos empleados por los egipcios hasta redes geodésicas territoriales que brindan una gran precisión en el estudio de la topografía.

A lo largo del desarrollo histórico de El Salvador se han desarrollado diversos trabajos enfocados a determinar de la forma más exacta y precisa las dimensiones del territorio nacional.

Las redes representadas como puntos sobre el terreno con mayores o menores densidades de cobertura y de aceptables valores de precisión son los primeros trabajos relacionados al desarrollo en las técnicas y principios topográficos de El Salvador.

En la década de los años cincuenta y sesenta, se establecieron las primeras redes geodésicas con cerca de 1,600 vértices en todo el país.

La primera Red Geodésica Nacional estaba constituida por tres arcos principales de triangulación: Arco Norte, Central y Costero, las redes tenían líneas bases de longitud de 20 a 70 kilómetros, de donde se derivaban cadenas de segundo y

tercer orden las cuales estaban establecidas para diferentes proyectos tales como estudios de carreteras, proyectos hidroeléctricos, irrigación y drenaje, etc.

Las redes geodésicas se levantaron en base a observaciones astronómicas, con equipos modernos para aquella época como los teodolitos. En la actualidad son observadas a través de los Sistemas de Posicionamiento Global, los cuales permiten la determinación de posiciones en cualquier lugar del globo terrestre en un sistema mundial de coordenadas brindando precisiones absolutas de decenas de metros hasta precisiones relativas al nivel del centímetro.

Para el año 1998 el Instituto Geográfico Nacional (IGN) llevo a cabo el levantamiento de su primera Red Geodésica Nacional de primer orden con equipo satelital GPS, ubicándola en el Sistema Geodésico Mundial (WGS-84), posteriormente se densificó las redes departamentales y municipales.

En el año 2007 se realizó el levantamiento de una nueva red geodésica, llamada SIRGAS-ES2007¹; está constituida por 38 estaciones distribuidas homogéneamente sobre todo el territorio nacional. Con esta nueva red se busca una plataforma de referencia que sea moderna, precisa y confiable para todos los usuarios y productores de información geográfica de El Salvador.

Los vértices de la Red Geodésica Nacional SIRGAS-ES2007, pueden ser utilizadas como estaciones de referencia y sus coordenadas junto a las

¹ SIRGAS-ES2007: Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas El Salvador 2007

efemérides satelitales del IGS², permitiendo obtener posiciones geodésicas referidas directamente al Sistema Internacional de Referencia Terrestre ITRF vigente ya que estas coordenadas están definidas sobre el mismo sistema que sirve como base para el cálculo de las órbitas de los satélites GPS, distribuidos por el servicio Internacional GNSS³.

² IGS: International GNSS Service

³ GNSS: Sistema Global de Navegación por Satélite.

1.2 Planteamiento del problema.

En la actualidad, en el ámbito de Geodesia y Topografía, se han realizado grandes avances en el uso de nuevos equipos y técnicas de medición; dentro de estos equipos se encuentra la Estación Total y equipos un poco más modernos que utilizan tecnología satelital para su funcionamiento; todos estos equipos son utilizados para muchos estudios en la rama de Ingeniería Civil. Uno de los elementos básicos de cualquier representación digital de la superficie terrestre son los Modelos Digitales de Terreno (MDT). Constituyen la base para un gran número de aplicaciones en ciencias relacionadas con la superficie de la tierra, ambientales e ingenierías de diversos tipos.

Para la obtención de Modelos Digitales de Terreno (MDT) se pueden utilizar los equipos mencionados anteriormente o utilizar métodos más sofisticados y modernos como la tecnología LANDSAT⁴, que consiste en imágenes obtenidas a partir de satélites en órbita.

En relación con los equipos convencionales de medición mencionados al principio, existen variedades de estos, pero la precisión está relacionada con su costo y su marca, además, para el manejo de estas tecnologías se necesita tener destreza en su manejo y personal especializado para el análisis de los datos

⁴ LANDSAT: Misión satelital de observación de la Tierra más antigua en operación, generando imágenes desde 1972 hasta la actualidad, capturando imágenes en 12 bandas distintas con una resolución máxima de 15 m.

obtenidos en campo; se debe tomar en cuenta también, que cada marca de equipo tiene un diferente procedimiento de manejo.

En El Salvador las técnicas de medición satelital son un tema nuevo y los especialistas en la rama son bastante escasos, así como personal técnico encargado del trabajo de campo, además, en nuestro país no existen los fondos suficientes para optar por tecnologías más modernas y demasiado costosas como las imágenes de satélite (LANDSAT).

El objetivo de esta investigación es hacer un análisis comparativo de Modelos Digitales de Terreno utilizando los datos obtenidos con Estación Total y GPS con el propósito esencial de demostrarle al lector el procedimiento detallado del manejo de los equipos para obtener los insumos para la generación de un Modelo Digital de Terreno (MDT) y la precisión de cada equipo en el procesamiento de los datos.

1.3 Objetivos.

1.3.1 Objetivo general:

- ✓ Realizar el análisis comparativo de Modelos Digitales de Terreno obtenidos con técnicas satelitales GNSS y con Estación Total.

1.3.2 Objetivos específicos:

- ✓ Elaborar un Modelo Digital de Terreno del Arenal de Mejicanos utilizando tecnología GNSS y Estación Total.
- ✓ Establecer la metodología óptima para la recolección de datos necesarios para la elaboración de un Modelo Digital de Terreno.
- ✓ Desarrollar un documento para el uso de GPS y Estación Total para respaldo técnico y criterios de toma de decisión para las personas que laboran realizando los Modelos Digitales de Terreno.
- ✓ Verificar con el procesamiento de datos recolectados con los equipos de medición, cual es el más eficiente en base a la precisión de los resultados.

1.4 Alcances.

Obtener características topográficas e hidrológicas del Arenal de Mejicanos mediante el análisis comparativo de un Modelo Digital de Terreno (MDT) a partir de la aplicación tecnología satelital GNSS y Estación Total, además tomar como base información topográfica y geográfica de planos y mapas del Centro Nacional de Registro (CNR), así como también hacer uso de la red Geodésica Nacional SIRGAS-ES2007 para la obtención de resultados con la mayor precisión posible.

1.5 Justificación.

Los Modelos Digitales de Terreno (MDT) los cuales nos brindan mucha información acerca del terreno en general y muy exacta, en El Salvador son realizados en su mayoría por el Centro Nacional de Registros (CNR) por métodos indirectos como Ortofotografía o LIDAR (Ligth Detection And Ranging) los cuales tienen un alto costo de realización por lo que con el trabajo se pretende:

- ✓ Realizar el análisis comparativo de los Modelos Digitales de Terreno (MDT) obtenidos con Estación Total y con la tecnología satelital GNSS cuyo fin primordial es la reducción de costos y tiempo de realización.
- ✓ Obtener información valiosa topográfica e hidrológica del Arenal de Mejicanos en la Universidad de El Salvador lugar donde se realizarán los levantamientos necesarios para la elaboración de los MDT y sus respectivos análisis comparativos.
- ✓ Proporcionar un documento práctico y conciso para la toma de decisiones de las personas dedicadas a realizar los MDT y que puedan seleccionar el método más conveniente.

CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS TEÓRICOS.

2.1 Geodesia, definición.

2.1.1 Fundamentos básicos de geodesia.

Geodesia.

Del griego: gêodaisia (geo, tierra; daien, dividir) que significa “dividir la tierra”. La Geodesia en el aspecto más general se define como la ciencia que trata de la determinación de las dimensiones exactas y de la forma de la Tierra y de la localización precisa de puntos sobre la superficie terrestre. A consecuencia de su evolución a lo largo de la historia, el concepto de Geodesia ha sido posteriormente extendido y en la actualidad su estudio incluye: la medición de los fondos oceánicos, la determinación del campo gravitatorio terrestre y sus variaciones temporales y la orientación y posición de la tierra en el espacio. También está ligado a la exploración espacial, lo que permite estudiar, en el sentido geodésico, otros cuerpos celestes.

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.

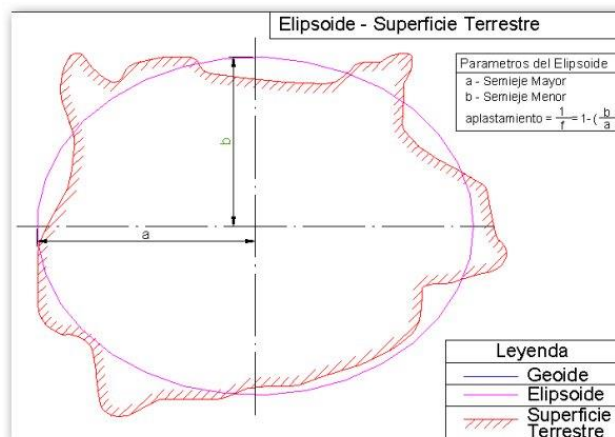


Figura 2.1: Geodesia Geométrica. Fuente: <https://ramonortiz1946.wordpress.com/tag/elipsoide/>

Geodesia Física: Estudia el campo gravitatorio de la tierra, partiendo de mediciones y del modelado del mismo. La determinación de la aceleración de la gravedad sobre la superficie de la Tierra proporciona un método para determinar

la forma de ésta. La determinación de la gravedad puede ser absoluta o relativa. Al hacer una determinación absoluta, el valor de la aceleración de la gravedad queda también determinado; en una determinación relativa no, por lo que debe determinarse la diferencia entre la aceleración de la gravedad en una estación pendular base y la de una estación de campo.

Los instrumentos utilizados para la medición de la gravedad se llaman Gravímetros.

Estos instrumentos no pueden medir la gravedad absoluta y sus resultados se conocen como medidas gravimétricas relativas. Con un Gravímetro se determina la gravedad en distintos lugares y luego estos valores se comparan con el valor de la gravedad de una estación base pendular. En las áreas oceánicas las medidas se llevan a cabo con gravímetros de tipo submarinos.

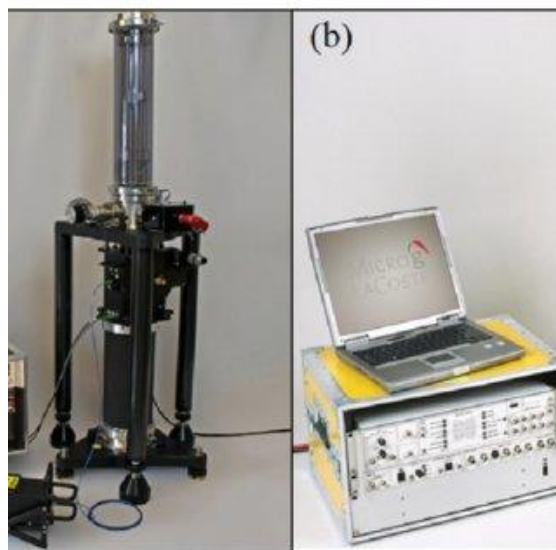


Figura 2.2: Gravímetro. Fuente: https://www.researchgate.net/figure/figura-2-gravimetro-fg-5-a-e-gravimetro-a-10-b-wwwmicroglacostecom_fig2_336969760

Astronomía Geodésica: Estudia los métodos astronómicos que permiten determinar las coordenadas geográficas sobre la superficie terrestre, de una serie de puntos fundamentales sobre los que se basarán las redes geodésicas.

En Geodesia Astronómica, se trabaja con un tipo de coordenadas denominadas coordenadas celestes o astronómicas las cuales guardan correlación con las coordenadas terrestres o geográficas. La base que los sistemas de coordenadas astronómicas utilizan para asignar posiciones a puntos u objetos observados en el cielo, así como a los astros, se denomina esfera celeste. La esfera celeste, es un globo imaginario, de radio infinito que rodea a la Tierra, en cuya cara interna se consideran ubicados los astros.

La esfera celeste cuenta con varias particularidades que son:

- El centro de la esfera celeste es el centro de la Tierra.
- El radio de la esfera celeste es infinito.
- El Ecuador celeste es la prolongación del Ecuador terrestre.
- La Tierra se considera inmóvil, la esfera celeste gira de este a oeste, respecto a un eje PN-PS.



Figura 2.3: Esfera celeste. Fuente: <https://www.latinquasar.org/astrologia-didactica/coordenadas-geograficas-y-celestes>

Así, por ejemplo, para la determinación de coordenadas Eclípticas, es necesario saber:

- El punto vernal (γ): Es aquel que se origina cuando el sol corta al Ecuador en su recorrido de Sur a Norte.
- El punto de libra (Ω): Es aquel que se origina cuando el Sol corta al Ecuador en su recorrido de Norte a Sur.

Así podremos determinar:

1. Latitud Astronómica (βa): Es el ángulo medido en el círculo polar eclíptico.

Se mide desde la eclíptica hasta llegar al astro.

$$\beta a(+)\rightarrow N \text{ Donde } 0^\circ \leq \beta a \leq 90^\circ$$

2. Longitud Astronómica (λ_a): Es el ángulo diedro medido en el círculo de la eclíptica. Parte desde el punto vernal hacia su este hasta llegar al círculo polar eclíptico que contiene al astro. Figura 2.4.

$$\lambda_a(+) \rightarrow E \text{ Donde } 0^\circ \leq \lambda_a \leq 360^\circ$$

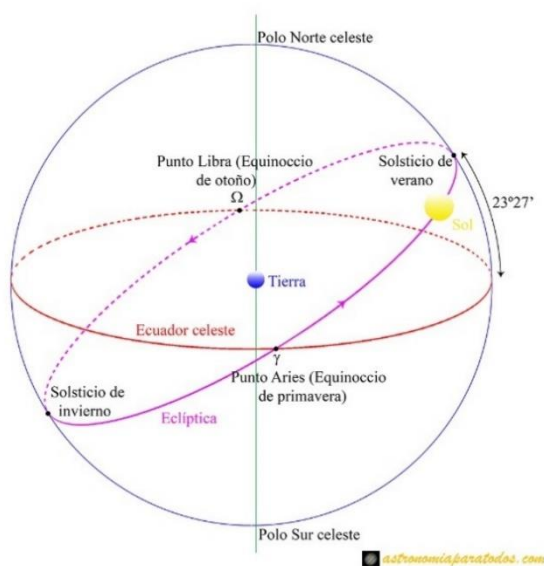


Figura 2.4: Geodesia Astronómica. Fuente: <https://astronomiaparatodos.com/2018/11/16/el-movimiento-aparente-del-sol/>

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.

Hoy en día, cualquier trabajo geodésico requiere de la intervención de varias de sus subdivisiones, a fin de alcanzar sus objetivos de forma conjunta en la llamada Geodesia Integrada.

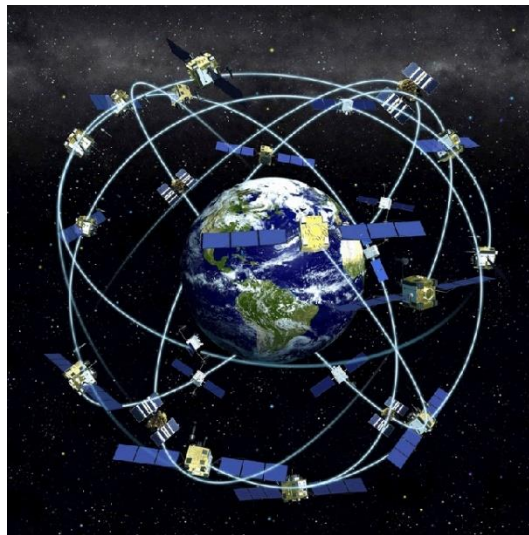


Figura 2.5: Geodesia Espacial o Satelital. Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/constelaci%C3%B3n_de_sat%C3%A9lites

Microgeodesia: Medida de deformaciones en estructuras de obra civil o pequeñas extensiones de terreno mediante técnicas geodésicas de alta precisión.



Figura 2.6: Microgeodesia. Fuente: <https://microgeodesia.webnode.es/galeria/>

Elipsoide de Revolución

La expresión “figura” de la Tierra puede tener varias interpretaciones, de acuerdo con el sentido en que se use y el grado de precisión con que se trate de definirla. La superficie más aparente para nosotros, es la superficie topográfica real de la

Tierra, con sus montañas, valles y otras formas terrestres continentales y oceánicas. Esta es la superficie sobre la cual se hacen realmente las mediciones, pero debido a las irregularidades que presenta, su forma no se presta para los cálculos matemáticos. La superficie terrestre es de interés para el Topógrafo y el Hidrógrafo, así como para el Geodesta, en lo que respecta a la influencia que los accidentes del terreno tienen sobre la fuerza de gravedad.

Con el objeto de simplificar el cálculo de las posiciones sobre la superficie de la Tierra, se ha adoptado una superficie matemática simple que se parece mucho a la real de la Tierra.

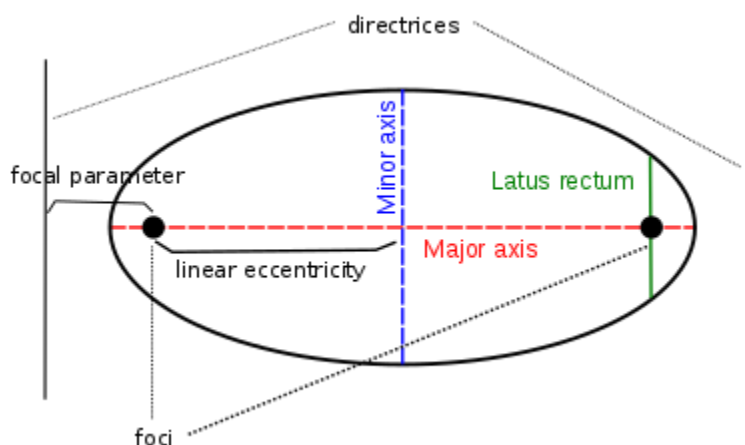


Figura 2.7: Elipsoide de revolución. Fuente: <https://forums.civfanatics.com/threads/a-simple-question-about-conic-properties.509522/page-2>

Podríamos escoger una esfera; pero en realidad la esfera es solo una aproximación a la figura real de la Tierra y que sólo es lo suficientemente aproximada para algunas finalidades como, por ejemplo, cálculos astronómicos, navegación, etc.

La forma de la Tierra, debido a su achatamiento en los polos y a su abultamiento en El Ecuador se representa matemáticamente con más precisión por un Elipsoide de revolución, que se genera al hacer girar una elipse alrededor de su eje menor.

El tamaño de un Elipsoide se designa generalmente por el radio del Ecuador. Este radio se llama Semieje Mayor y se identifica con la letra a . La forma del Elipsoide está dada por el achatamiento f donde $f = 1 - \frac{a}{b}$

El achatamiento indica en qué medida el Elipsoide se acerca a la esfera.

En la Tabla 2.1 se presentan algunos de los Elipsoides más empleados, generalmente conocidos por el nombre de quien los derivó y el año en que fue determinado.

Elipsoide	a	F
Airy 1830	6.377.563,396	299,3249646
Bessel 1841	6.377.397,155	299,1528128
Clarke 1866	6.378.206,4	294,9786982
Clarke 1880	6.378.249,145	293,465
Everest 1830	6.377.276,345	300,8017
Fischer 1960 (Mercury)	6.378.166	298,3
Fischer 1968	6.378.150	298,3
G R S 1967	6.378.160	298,247167427
G R S 1975	6.378.140	298,257
G R S 1980	6.378.137	298,257222101
Hough 1956	6.378.270	297,0
Hayford o Internacional	6.378.388	297,0
Krassovsky 1940	6.378.245	298,3
South American 1969	6.378.160	298,25
WGS 60	6.378.165	298,3
WGS 66	6.378.145	298,25
WGS 72	6.378.135	298,26
WGS 84	6.378.137	298,257223563

Tabla 2.1: Elipsoides más usados. Fuente:
<https://es.slideshare.net/asoges/sistema-de-referencia-geocentrico-para-las-americas-sirgas-aplicado-a-el-salvador>

Dado que la Región Centroamericana está siendo tomada en cuenta dentro de la región Norteamericana, el Elipsoide utilizado en El Salvador es el Clarke (1866).

Además de elegir las dimensiones para el tamaño y forma del Elipsoide, la orientación apropiada del mismo con respecto a la Tierra real introduce algunos requisitos adicionales. Para orientar el Elipsoide, su eje de rotación se define siempre como paralelo al eje de rotación de la Tierra; sin embargo, permanece indefinido el centro del Elipsoide.

El Geoide.

Si bien el Elipsoide, como superficie geométrica de referencia, permite representar punto a punto por medio de coordenadas la superficie física de la Tierra, las mediciones sobre la dicha superficie no se efectúan sobre un Elipsoide matemático, sino que están referidas a una superficie llamada Geoide.

Es por ello que la utilización del Elipsoide no es adecuada cuando lo que deseamos medir son altitudes, ya que existen una gran cantidad de requerimientos prácticos, que imponen la determinación de alturas respecto de una superficie de nivel. De entre estos requerimientos destaca el hecho de que la mayor parte de la Tierra está cubierta por mares y océanos (70.8 %), entonces la superficie de referencia por excelencia para medir altitudes es el nivel medio del mar.

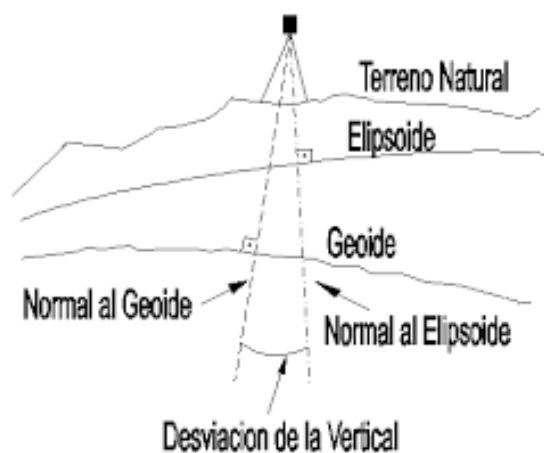


Figura 2.8: Geoide, Elipsoide y Topografía. Fuente: [https://ocw.unican.es/pluginfile.php/1433/course/section/1858/ud%2520i%2520todo_def .pdf](https://ocw.unican.es/pluginfile.php/1433/course/section/1858/ud%2520i%2520todo_def.pdf)

El Geoide es aquella superficie hacia la cual tienden a conformarse las aguas de Los Océanos ya que tienen la libertad de ajustarse a las fuerzas que actúan sobre ellas. Las fuerzas que actúan sobre Los Océanos incluirían la atracción real de la masa de la Tierra, la fuerza centrífuga debido a la rotación de la misma y otras atracciones debidas a diferencias de densidades en la corteza terrestre. Las características del terreno, tales como montañas, valles e islas oceánicas también ejercen fuerzas de gravedad que a su vez afectan la forma del Geoide. En pocas palabras, el Geoide es la forma real de una superficie en la que el potencial de la gravedad en cada uno de sus puntos es constante; la superficie es más lisa que la topográfica pero todavía tiene abultamientos y hundimientos.

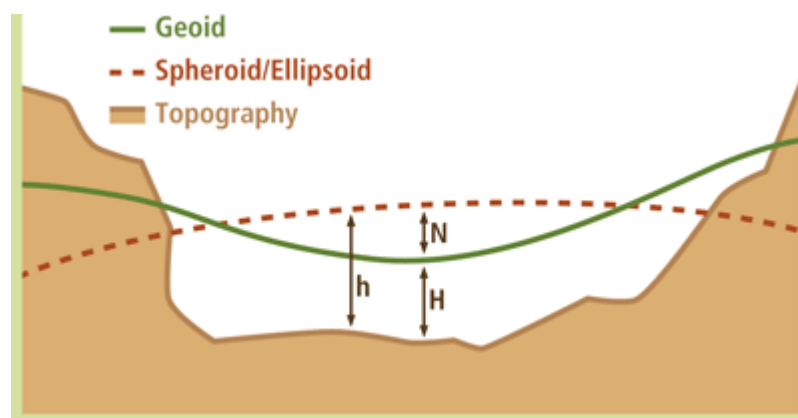


Figura 2.9: Superficie equipotencial del campo de gravedad. Fuente: <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/help/mapping/properties/geoid.htm>

Técnicamente se define al Geoide como aquella superficie horizontal, de nivel o superficie equipotencial del campo de gravedad que en todos sus puntos es normal a la dirección de la vertical del lugar, la cual coincide con las nociones de dirección de la gravedad en cada punto y es la dirección de la resultante de la

fuerza de atracción de la masa terrestre y la fuerza centrífuga producida por la rotación terrestre. Este hecho es importante porque define la dirección de la plomada que usa el Topógrafo. Así, toda vez que se utilice un instrumento con nivel de burbuja, este quedará tangente a la superficie Geoidal en el punto donde se halle establecido el instrumento.

La Tierra aparecerá entonces, laminada por superficies equipotenciales o de nivel de las cuales se destaca una, la que mejor se ajusta al nivel medio del Mar, es decir, el Geoide.

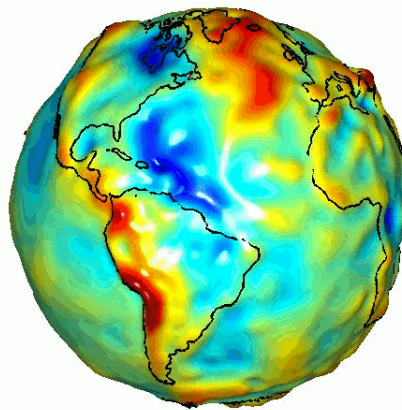


Figura 2.10: El Geoide. Fuente: <https://www.uh.edu/engines/epi3202.htm>

El Elipsoide y el Geoide.

Uno de los Elipsoides de referencia más utilizados actualmente es el descrito en el sistema denominado World Geodetic System 84 (WGS-84), desarrollado por el Departamento de Defensa de los EEUU y cuyos parámetros se muestran en la Tabla 2.2. Su popularidad se debe a que es el utilizado por el Sistema de Posicionamiento Global por Satélite GPS.

NOMBRE	SÍMBOLO	VALOR
Semieje Mayor	a	6378.137000 km
Semieje Menor	b	6356.752314 km
Factor de Achatamiento	$f = \frac{a-b}{a}$	1/298.257223563
Velocidad Angular de la Tierra	ω_e	$7292115 \times 10^{-11} \text{ rad}/s$

Tabla 2.2: Parámetros de La Tierra WGS-84. Fuente: GPS aplicado a proyectos de ingeniería civil, Wilfredo Amaya Zelaya.

Este sistema, tal y como su nombre lo indica es un sistema de referencia mundial, ya que tanto su forma y dimensiones dadas por sus características geométricas a, b y f, así como su ubicación y orientación, se obtienen tratando de ajustarlo para describir de la mejor manera posible la forma del Geoide.

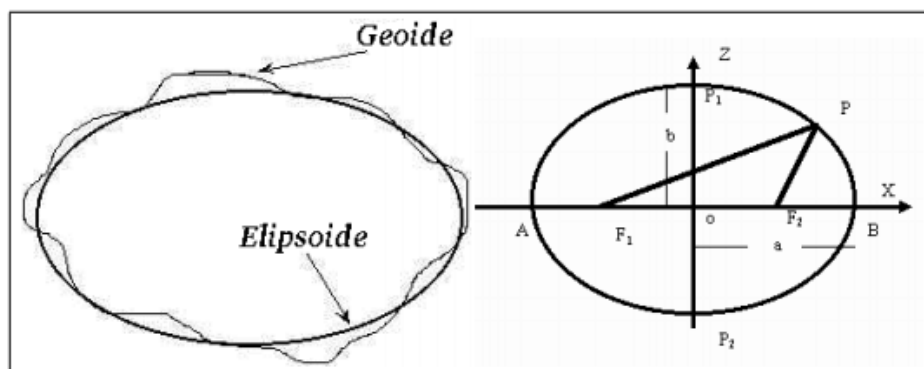


Figura 2.11: Geoide y Elipsoide. Fuente: <https://alfageomatics.com/2019/04/tecnicas-de-observacion-de-la-tierra-ii-geodesia/>

Es así, que centro del Elipsoide coincide con el centro de gravedad de la Tierra, que a su vez sería el origen del sistema cartesiano, el semieje menor apuntando hacia el polo norte convencional (Z), coincidiendo así con el eje de rotación de la Tierra y su eje X pasando por la intersección del plano del Ecuador y El Meridiano de Greenwich. En base a dicha orientación, se pueden obtener las coordenadas de un punto tal y como lo ilustra la Figura 2.12.

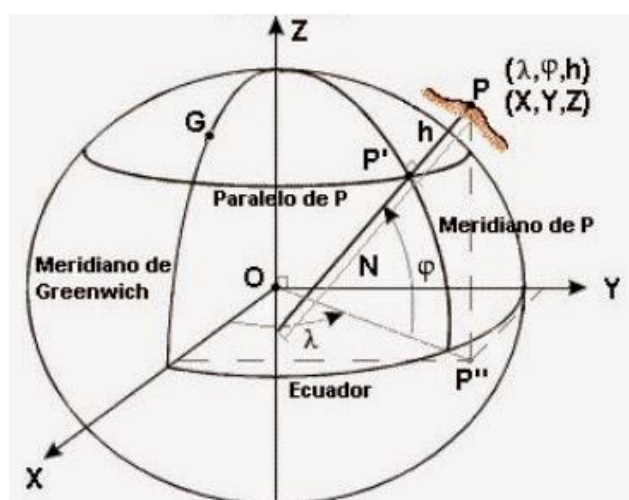


Figura 2.12: Coordenadas de un punto P en el elipsoide. Fuente <http://geodesiamania.blogspot.com/2015/02/transformarcoordenadasgeodesicas.html>

Las coordenadas geodésicas del punto P se definen de la siguiente manera:

- **La latitud geodésica B** es el ángulo entre el plano del Ecuador y la normal al Elipsoide que pasa por el punto P medida en el plano del meridiano del punto. El origen de las latitudes es el Ecuador y varía entre 0° y 90° en el hemisferio norte y entre 0° y -90° en el hemisferio sur.
- **La longitud geodésica L** es el ángulo del diedro determinado por el Meridiano de Greenwich, es decir el plano (X, Z) y el meridiano que

contiene al punto P. La longitud varía entre 0° y 180° medida desde el Meridiano de Greenwich hacia el este y 0° y -180° medida desde el Meridiano de Greenwich hacia el oeste.

- **La altura geodésica h** es la distancia entre el punto y el Elipsoide medida a lo largo de la normal al Elipsoide. La altura es positiva por encima del Elipsoide y negativa por debajo de él.

La utilización de este último tipo de coordenadas permite ubicar al punto en altura por medio de h (respecto del Elipsoide) y determinar la posición de su proyección sobre el Elipsoide por medio de B y L .

Determinación de las alturas.

Como el Elipsoide es una superficie regular y el Geoide una superficie irregular, es claro que las dos superficies no coincidirán (Figura 2.13). Las superficies pueden interceptarse, en cuyo caso se formará un ángulo, y por consiguiente una separación entre ellas. El ángulo entre las dos superficies es también el ángulo formado entre las perpendiculares al Elipsoide y al Geoide y se conoce como deflexión o desviación de la vertical. La separación entre las superficies se denomina Ondulación Geoidal, y representa la distancia entre el Elipsoide Matemático y el Geoide real.



Figura 2.13: Desviación de la vertical. Fuente: <https://xdoc.mx/preview/2-figuras-de-la-tierra-1-tipos-de-superficie-el-5f1b43b15d9e7>

Tanto la desviación o deflexión de la vertical, así como las ondulaciones del Geoide, dependen de las anomalías de masa de la Tierra. La figura 14 muestra como el excedente de masa de las montañas y la deficiencia de masa en los Océanos, causa las desviaciones de la vertical y las ondulaciones del Geoide. En el punto “A” la masa montañosa atrae la línea de plomada con respecto a la normal al Elipsoide. En forma parecida, la deficiencia de masa del océano empuja la línea de plomada. Como el Geoide es siempre perpendicular a la línea de plomada, debe elevarse sobre el Elipsoide bajo las montañas y quedar abajo en los Océanos.

Con GPS, podemos obtener de manera directa valores de elevación referidos al Elipsoide, es decir elevaciones elipsoidales. Como se mencionó con anterioridad, la superficie por excelencia para medir la elevación de un punto es el Geoide, que a su vez es la superficie que mejor se adapta al nivel medio del mar, el cual

históricamente ha sido usado en la Topografía convencional como punto cero o de referencia para la elevación.

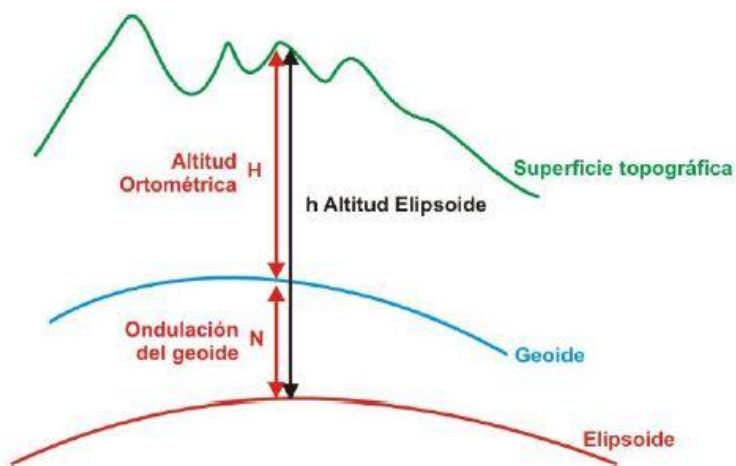


Figura 2.14: Relación entre altura Geoidal y altura Elipsoidal. Fuente: <https://unisigzayrao.blogspot.com/p/sistemas-de-referencia.html>

El problema fundamental es que estos dos sistemas de alturas o elevaciones, están completamente separados. No podemos medir las alturas directamente en un sistema con las herramientas de otro sistema.

Sin embargo, para armonizar y aprovechar la información proporcionada por ambos sistemas se ha desarrollado la ecuación $H = h \pm N$ donde:

H: Es la elevación ortométrica o elevación sobre el nivel medio del mar.

h: Es la elevación elipsoidal obtenida directamente del receptor GPS.

N: Es la ondulación del Geoide, representa la distancia entre el Geoide y el Elipsoide.

Para lograr la aplicabilidad de esta fórmula y lograr obtener valores de elevación ortométrica con precisión centimétrica, el Instituto Geográfico Nacional, ha desarrollado un modelo Geoidal del país en Base a la Red Geodésica Básica Nacional SIRGAS_ES2007.8, establecida dicha red y tomando como referencia la Red Nacional de Niveles, se les dio elevación a todos y cada uno de los vértices geodésicos de la red SIRGAS_ES2007.8.

Posteriormente y mediante la utilización de un modelo escalado del EGM2008 (*Earth Geopotencial Model*), y el método de diferencias finitas para superficies de mínima curvatura, se generó una superficie correctora que sumada a la del Geoide base EGM2008 dio origen al modelo de Geoide escalado definitivo.

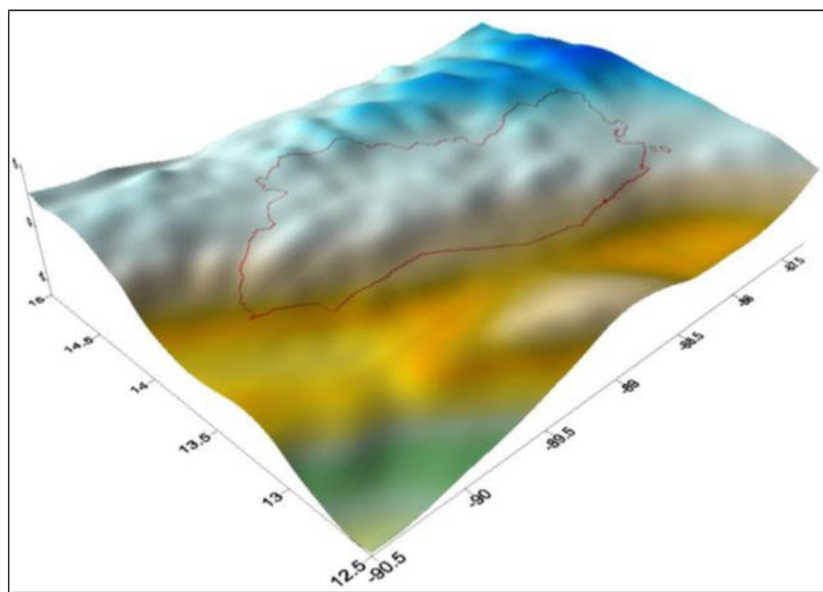


Figura 2.15: Representación 3D del geoide de El Salvador. Fuente: https://www.sirgas.org/fileadmin/docs/boletines/bol16/amaya_actualizacion_geoide_el_salvador.pdf

Sistemas de Referencia Geodésicos.

Definición de constantes, parámetros, etc. que nos sirven como base para la representación de la geometría de la superficie terrestre y su variación en el tiempo.

Está definido por el conjunto de los elementos siguientes:

- Una superficie de referencia (Elipsoide de revolución), y
- Un punto fundamental identificado como DATUM.

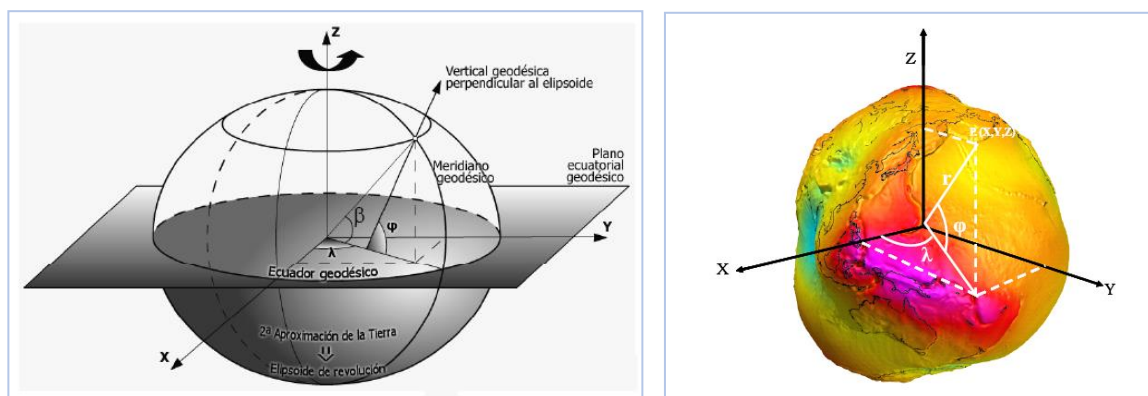


Figura 2.16: Elementos de un Sistema de Referencia Geodésico. Fuente:

<https://cmappublic2.ihmc.us/rid=1wn9p416p-sczqyr-4fkh/sistema%20de%20referencia%20geodésicos.pdf>

El Datum.

Es el conjunto de cantidades matemáticas o geométricas que sirven como referencia o base a otras cantidades, es decir se define como un origen y situación de un sistema de coordenadas, válido para una zona de la Tierra, no extrapolable a toda la superficie.

Existen Datum Locales y Geocéntricos, Los Locales están Horizontales y el Datum Altimétrico (nivel medio del Mar).

Datum Geodésico Horizontal: Son los datos necesarios de partida para situar los puntos respecto a la superficie de un Elipsoide o en un sistema de referencia tridimensional.

Datum Local: Es un punto en donde se hace coincidir el Elipsoide y el Geoide, o bien en donde es conocida la desviación de la vertical y la ondulación del Geoide.

El datum Geocéntrico: Está referido al centro de masa de la Tierra.

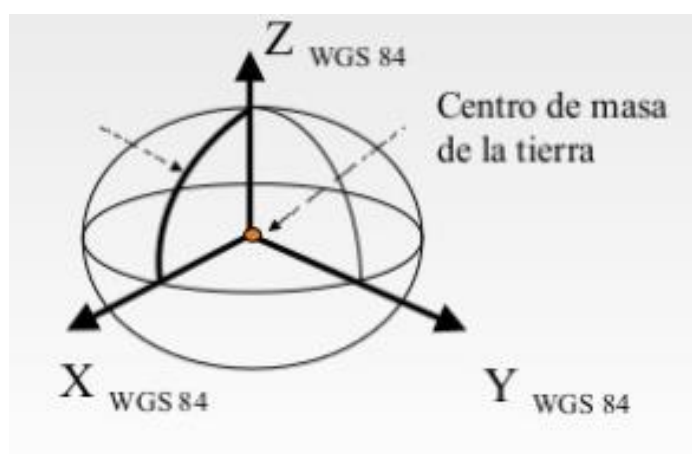


Figura 2.17: Datum Geocéntrico WGS-84. Fuente: <https://es.slideshare.net/asoges/sistema-de-referencia-geocentrico-para-las-americas-sirgas-aplicado-a-el-salvador>

Datum Horizontal.

Datum Norteamericano de 1927.

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

Un Datum Horizontal proporciona un marco de referencia que sirve de base para colocar ubicaciones específicas en puntos específicos de la Tierra. Estos sistemas de referencia geodésicos y los sistemas de proyecciones cartográficas permiten la transformación de coordenadas geográficas a coordenadas planas. Todas las coordenadas planas en la Tierra hacen referencia al datum horizontal utilizado en su transformación, como se observa en la información técnica del fragmento de mapa que se ilustra en la Figura 2.18, donde hace referencia al Datum Norte Americano de 1927.



Figura 2.18: Segmento de mapa con Datum NAD 27. Fuente: <https://es.slideshare.net/asoges/sistema-de-referencia-geocentrico-para-las-amricas-sirgas-aplicado-a-el-salvador>

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

Históricamente los países adoptaban el sistema de referencia geodésicos más conveniente de acuerdo a la ubicación y la disponibilidad de Datum locales, referenciados a Elipsoides no geocéntricos, sin embargo, en la actualidad hay una tendencia a utilizar los sistemas geodésicos globales, como el Datum geocéntrico WGS-84, el cuál emplea el Elipsoide Geocéntrico WGS-84, porque contribuye a la unificación de los sistemas de referencia e incorpora la posibilidad de implementar nueva tecnología, por ejemplo, la determinación de coordenadas geodésicas con el Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

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

El Datum NAD 27 fue establecido por coordenadas y desviación de la vertical en la estación de triangulación Meades Ranch (Kansas EU) referidas al Elipsoide Clarke de 1866, sin embargo, en la actualidad se emplea el Elipsoide y el Datum WGS-84.

El Datum Norteamericano fue designado como base para las redes de Triangulación de Estados Unidos, México y Canadá desde 1913.



Figura 2.19: Estación de Triangulación Meades Ranch E.U. Fuente: <https://es.slideshare.net/asoges/sistema-de-referencia-geocentrico-para-las-amricas-sirgas-aplicado-a-el-salvador>

Para formar el Datum NAD 27 aproximadamente 26,000 estaciones de reconocimiento se establecieron en los Estados Unidos y Canadá, en cada una se determinó sus coordenadas de latitud y longitud. Estas estaciones de levantamiento y triangulación fueron utilizadas posteriormente para formar el Datum NAD 27.

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

al punto fundamental ubicado en el rancho de Meades y referidas al Elipsoide de referencia Clark 1866.

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

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

Elipsoide	Año	a (metros)	f aprox.	Datum
Bessel	1841	6377397	299.153	Tokyo
Clarke	1866	6378206	294.987	NAD 27
Krassovsky	1938	6378245	298.300	Pulkovo
WGS 72	1972	6378135	298.260	WGS 72
GRS 80	1980	6378137	298.257	NAD 83
WGS 84	1984	6378137	298.257	WGS 84

Tabla 2.3: Elipsoides y sus Datum. Fuente: GPS aplicado a proyectos de ingeniería civil,

Wilfredo Amaya Zelaya.

Cada país ha dispuesto su propio Sistema Geodésico de referencia, lo que genera dificultad para unir o integrar la cartografía en centenares de metros. Por ello la importancia de un marco de referencia mundial.

Datum Vertical.

Retomando el concepto de Datum como un punto de referencia que sirve como base para definir un origen, y al hablar de Datum Vertical es necesario definir qué es el nivel medio del Mar (NMM); como la superficie de referencia que se adopta como Datum, y la altura de cada banco de nivel o banco de Marca (BM) se define como la distancia vertical entre éste y la superficie de referencia (Figura 2.20).

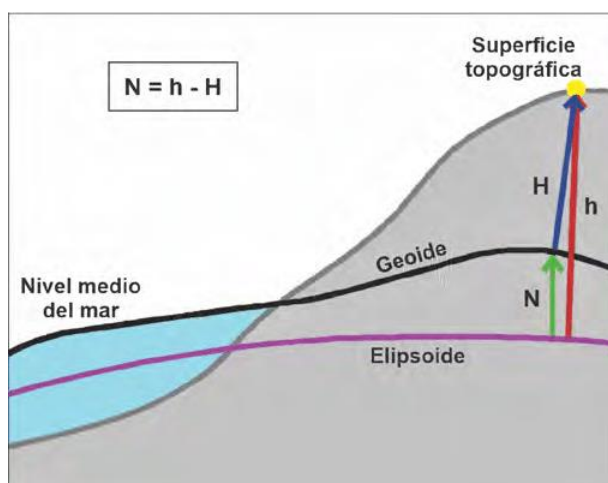


Figura 2.20: Nivel medio del mar como superficie de referencia. Fuente: https://www.researchgate.net/figure/figura-5-modelo-del-geoide-modificado-de-heiskanen-y-moritz-1967-referencias-n_fig2_341882107

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

medio del Mar. Las alturas referidas al Geoide, se llaman alturas Ortométricas (H), y son las que usualmente se encuentran representadas en las cartas topográficas. Si el Geoide es reemplazado por un Elipsoide, se puede definir la altura elipsoidal (h), también llamada altura geométrica.

La determinación de este nivel cero para la altimetría, conlleva una serie de mediciones y observaciones del comportamiento del mar en todo el mundo, por ende, se recolecta la información utilizando Mareógrafos, logrando registrar niveles máximos y mínimos según diferentes periodos de tiempo, y a partir de estos establecer un nivel medio del mar.

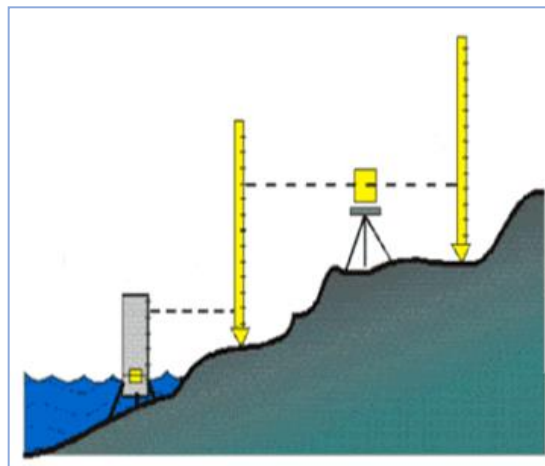


Figura 2.21: Determinación de nivel cero para altimetría. Fuente: <https://www.doccity.com/es/diapositivas-topografia-altimetria-y-nivelacion/7735002/>

Modelo Geoidal Mundial EGM-96 Y EGM-2008.

Al utilizar el Sistema de Navegación Global por Satélite (GNSS) para establecer coordenadas geográficas, se obtienen valores de elevación, pero Elipsoidales,

por ende, se utiliza el geode para calcular alturas tomando el nivel medio del mar. Es decir que para poder compatibilizar estas alturas es necesario que se disponga de un modelo Geoidal y calcular la ondulación Geoidal de un punto sobre la superficie terrestre. Existen varios métodos para determinar el modelo Geoidal, entre ellos se encuentran los Modelos Geopotenciales, Modelos Gravimétricos, y los Modelos Geométricos.

En particular el modelo Geoidal EGM-96 y EGM-08 son globales y sus siglas significan Modelo Geopotencial Mundial, uno establecido en 1996 y el otro en el año 2008, y se refieren a la variación de la energía potencial gravitatoria en las regiones de la Tierra.

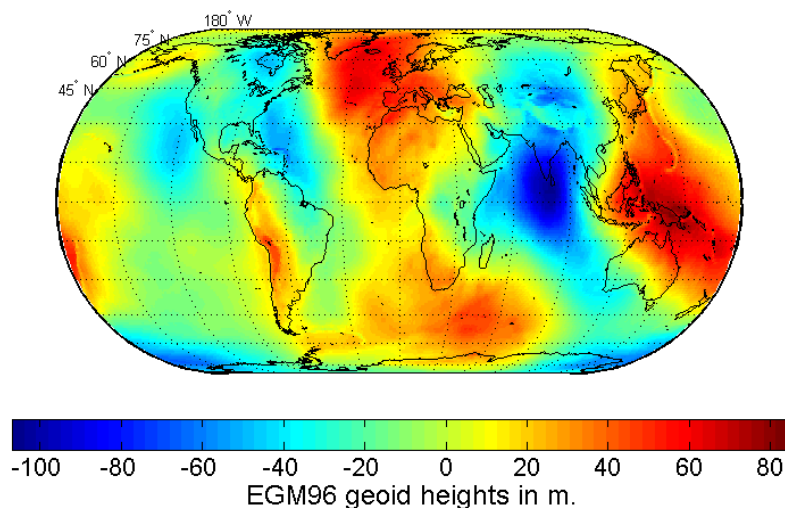


Figura 2.22: Modelo Geoidal Mundial EGM-96. Fuente: <https://eco-geoeco.freshdesk.com/support/solutions/articles/6000176941-geoides-para-carlson-survce>

EGM-08.

Los modelos geopotenciales como el EGM-96 eran considerados faltos de una precisión necesaria, lo que motivaba a muchos países a desarrollar sus propios

modelos regionales con sus recursos. Ante esta situación era necesario la creación de un modelo Global que cumpliera con las expectativas de todos, similar al hecho que el WGS-84 sustituyera todos aquellos sistemas locales para referenciación, se creó un modelo Geoidal mundial capaz de proporcionar una mejor precisión para obtener alturas Ortométricas en cualquier punto del planeta.

Este modelo ha sido desarrollado por la Agencia Nacional de Inteligencia Geoespacial de los EE.UU. Esto supuso un gran logro para la cartografía mundial, en el campo de la gravedad.

Por primera vez en la historia Geodésica moderna, se determina un modelo armónico esférico completo en grado y orden 2159, junto con otros coeficientes armónicos esféricos (SHCs) que se extienden hasta el grado 2190 y orden 2159. Este nuevo modelo ofrece un nivel sin precedentes en la resolución espacial de muestreo (~ 9 km) para la recuperación de valores de la gravedad en todo el globo, y contribuye de una manera más exitosa a los constantes esfuerzos de la comunidad geodésica por conseguir un modelo de campo gravitatorio de mayor resolución y precisión.

EGM2008 es el modelo a escala mundial más completo y preciso obtenido hasta el momento (Figura 23). Disponible en forma de malla de 1' x 1' y de 2.5' x 2.5', hasta en formato GIS de ESRI, con valores de ondulación sobre el sistema WGS84. Un test con datos GPS/nivelación de más de 12.000 puntos a nivel global ha demostrado que la precisión de EGM2008 en desviación estándar se

encuentra en el orden del decímetro y mucho mejor en precisión relativa, mejorando con mucho los modelos globales que había hasta el momento.

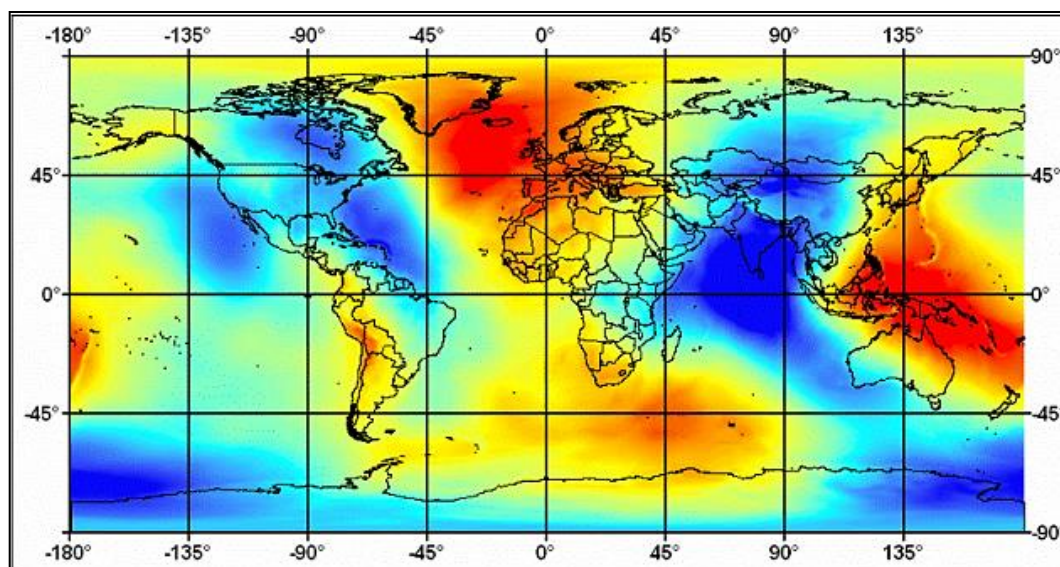


Figura 2.23: Modelo Geoidal Mundial EGM-08. Fuente: <http://detopografia.blogspot.com/2012/12/el-problema-de-la-altura-en-gps.html>

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

Modelo Geoidal Local.

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

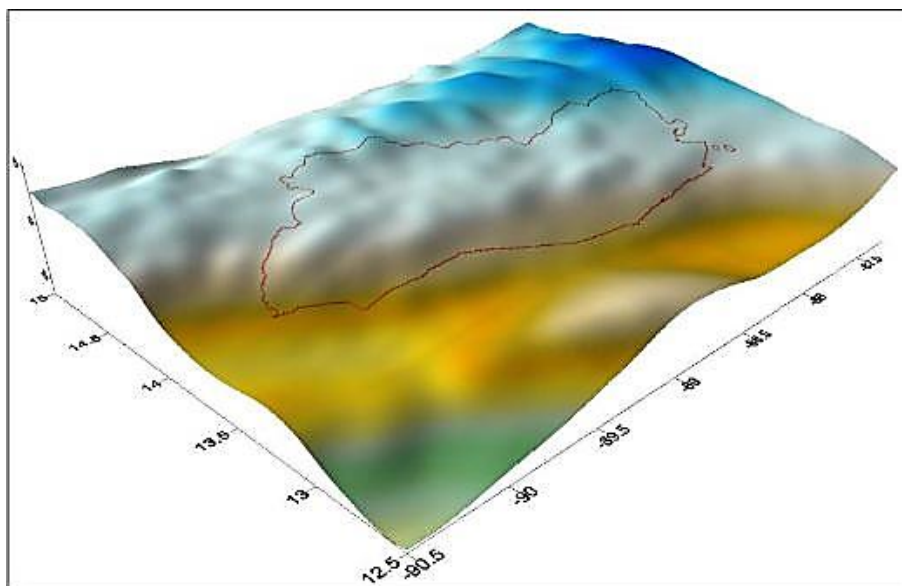
Así pues, disponer de una superficie equipotencial de referencia como Datum Altimétrico preciso o Geoide Local es de gran importancia por cuanto ello nos permitiría determinar las altitudes Ortométricas de forma eficiente a partir de las altitudes Elipsóidicas proporcionadas por el Sistema Global de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

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

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

En nuestro país, para lograr obtener valores de elevación Ortométrica con precisión centimétrica, el Instituto Geográfico Nacional, ha desarrollado un modelo Geoidal del país en Base a la Red Geodésica Básica Nacional SIRGAS_ES2007, denominado ESGeoide. Establecida dicha red y tomando como referencia la Red Nacional de Niveles, se les dio elevación a todos y cada uno de los vértices geodésicos de la red SIRGAS_ES2007.

Posteriormente y mediante la utilización de un modelo escalado del EGM2008 (Earth Geopotencial Model), y el método de diferencias finitas para superficies de mínima curvatura, se generó una superficie correctora que sumada a la del Geoide base EGM2008 dio origen al modelo de “Geoide Escalado Definitivo.”



Sistemas y Marcos de Referencia Geodésicos.

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

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

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

Sistemas Geocéntricos: el Origen de coordenadas del sistema coincide con el centro de masas terrestre (Figura 2.25), dentro de esta clase se encuentran el WGS84 e ITRS.

International Terrestrial Reference System (ITRS).

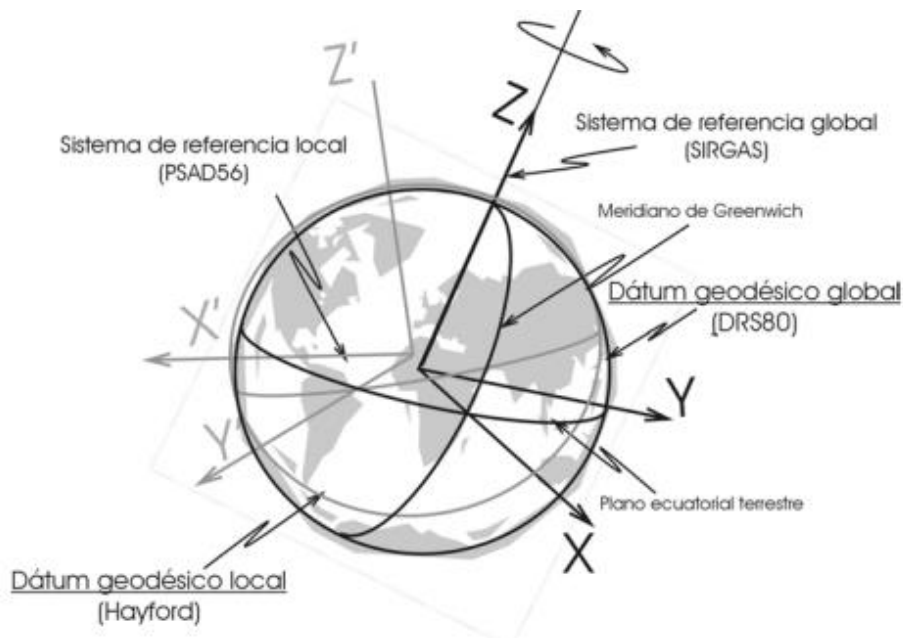


Figura 2.25: Sistema de referencia Local y Geocéntrico. Fuente: Facultad de ingeniería UNLP, sistemas de coordenadas más usados en geodesia.

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

World Geodetic System 1984 (WGS84).

Sistema de referencia terrestre global que originalmente fue establecido para determinar las coordenadas de las órbitas de los satélites Doppler (WGS72). Fue adoptado para las órbitas de los satélites NAVSTAR GPS. WGS84 adoptó el ITRS en 2002.

Marcos de Referencia.

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

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

International Terrestrial Reference Frame (ITRF).

Materialización del ITRS por estaciones en la superficie terrestre (más de 900 puntos en más de 500 sitios) con coordenadas dadas para una época fija y sus variaciones en el tiempo. Sirve también para la determinación de las órbitas precisas de los satélites GPS por el Servicio GNSS Internacional (IGS).}

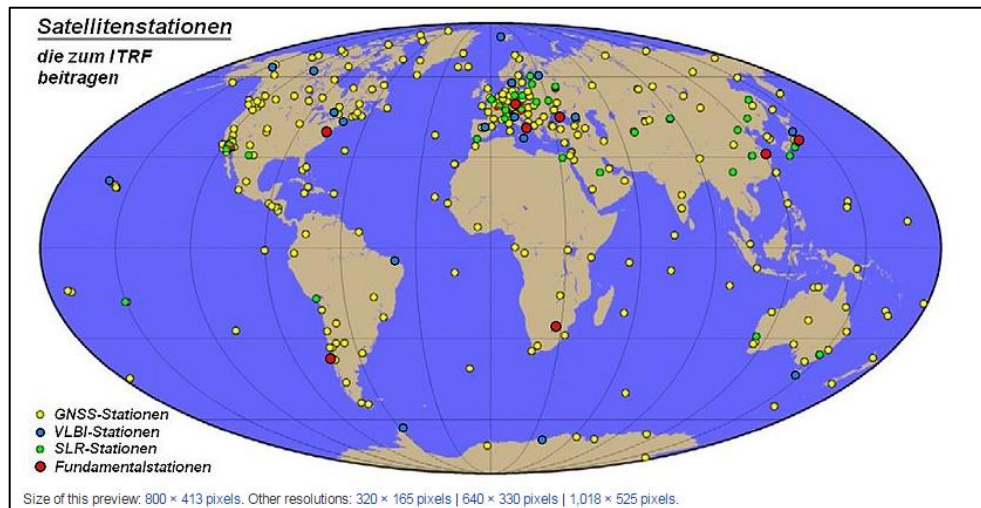


Figura 2.26: ITRF. Fuente:

https://en.wikipedia.org/wiki/international_terrestrial_reference_system_and_frame

SIRGAS.

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

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

Este sistema de referencia ha tenido diversas actualizaciones a lo largo del tiempo, desde la primera realización, el SIRGAS S95, que correspondía al ITRF94 en la época 1995.4 y estaba dada por una red GPS de alta precisión con

58 estaciones distribuidas sobre América del Sur. Esta red se reestructuró en el año 2000, y se extendió a los países del Caribe y de Centro y Norte América y el significado original del acrónimo SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para América del Sur) se cambió a Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas.

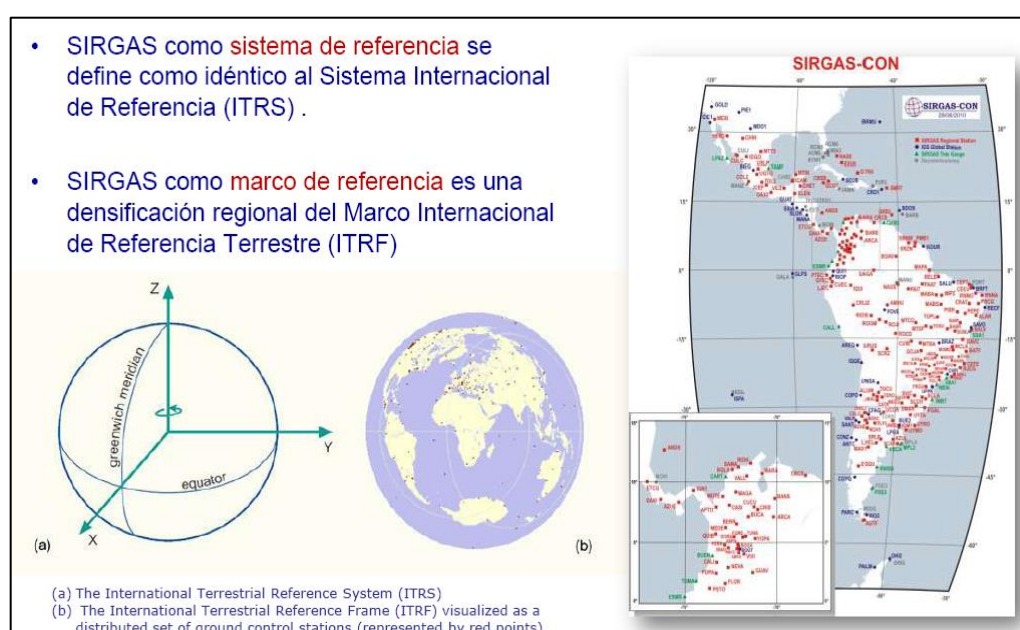


Figura 2.27: SIRGAS-CON. Fuente: <https://es.slideshare.net/asoges/sistema-de-referencia-geocentrico-para-las-americas-sirgas-aplicado-a-el-salvador>

Esta segunda realización se nombró SIRGAS 2000, y estaba formada por 184 estaciones y correspondía al ITRF2000, de la época 2000. La tercera realización de SIRGAS, es la red que se utiliza en la actualidad, la red SIRGAS-CON, una red de Operación Continua. Está compuesta por cerca de 400 estaciones GNSS de funcionamiento permanente, de las cuales 59 pertenecen la red global del IGS (International GNSS Service).

Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS).

Densificación del ITRF en América Latina y El Caribe. Las coordenadas SIRGAS están asociadas a una época específica de referencia y su variación con el tiempo es tomada en cuenta ya sea por las velocidades individuales de las estaciones SIRGAS o mediante un modelo continuo de velocidades que cubre todo el continente. Las realizaciones o densificaciones de SIRGAS asociadas a diferentes épocas y referidas a diferentes soluciones del ITRF materializan el mismo sistema de referencia y sus coordenadas, reducidas a la misma época y al mismo marco de referencia (ITRF), son compatibles en el nivel milimétrico. El Datum Geodésico SIRGAS está definido por el origen, la orientación y la escala del sistema SIRGAS (ITRS). La conversión de coordenadas geocéntricas a coordenadas geográficas se adelanta utilizando los parámetros del Elipsoide GRS80. La conversión de coordenadas geocéntricas a coordenadas geográficas se adelanta utilizando los parámetros del Elipsoide GRS80. La extensión del marco de referencia SIRGAS está dada a través de densificaciones nacionales las cuales a su vez sirven de marcos de referencia local.

El estudio y evolución de la Geodesia ha planteado grandes problemas matemáticos en todas las épocas, y en la historia de esta ciencia aparecen los más eminentes científicos de la humanidad, quienes han aportado sus conocimientos y contribuido a su desarrollo. Al mismo tiempo, o quizá por ello, la Geodesia ha sufrido los avatares y controversias del desarrollo cultural de los pueblos y en muchos casos la influencia de ciertas filosofías e incluso de la propia Teología.

A continuación, se presentan las concepciones de la Tierra en la antigüedad.

Babilonia-Asiria.

La Tierra era considerada como un disco plano que flota en El Océano y en cuyo centro se encuentra Babilonia. A esta concepción corresponde el único mapa del mundo que se conoce de esta época. Fue dibujado por un escriba en la parte inferior de una tablilla de arcilla.



Figura 2.29: La Tierra según los Babilonios (500 AC). Fuente: <https://www.mapasvintage.com/category/cual-es-el-mapa-mas-antiguo-que-existe/>

Egipto.

Heródoto le atribuye a Egipto la invención de la geometría. Los egipcios poseían sólidos conocimientos en esta área, prueba de ello es que, desde las campañas napoleónicas, se conoce la extraordinaria precisión en la orientación de las caras de algunas pirámides respecto a los puntos cardinales.

Grecia.

Tales de Mileto (625-546 a.C.) decía que la Tierra era un barco redondo flotando en un océano sin límites. El mediterráneo ocupa el centro del disco y se comunica con El Océano circundante por el estrecho de Gibraltar.

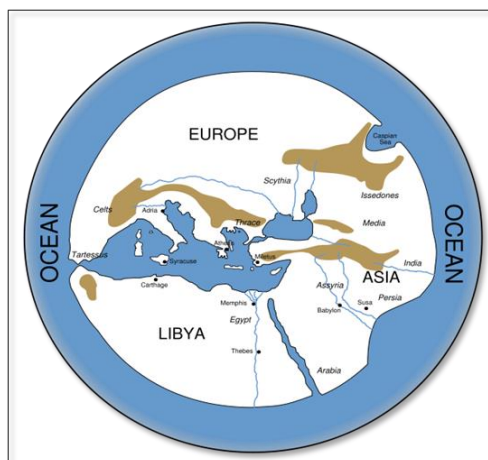


Figura 2.30: La Tierra según Tales de Mileto (625-546 AC). Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/hecateo_de_mileto

Anaximandro de Mileto (610-547 a.C.), discípulo de Tales, dice que la tierra es un disco cilíndrico cuyo eje está orientado de Este a Oeste, y que ocupa el centro de todo lo creado. Introdujo la idea de la esfera celeste, que aún continúa utilizándose en Astronomía de Posición.

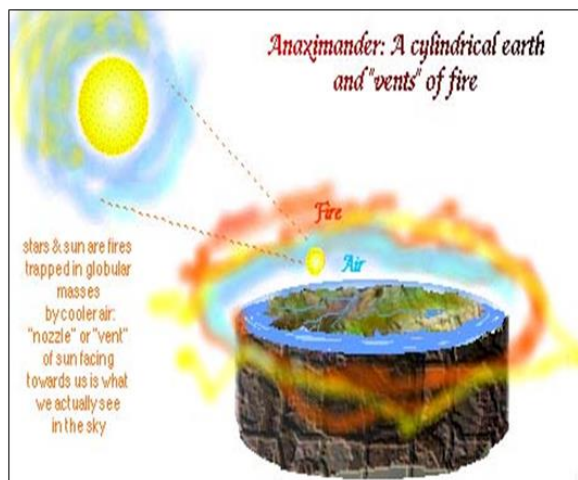


Figura 2.31: La Tierra según Anaximandro (610-547 AC). Fuente: <http://sofosblog666.blogspot.com/2017/03/anaximandro-de-mileto.html>

Para Anaxímenes (570-500 a.C.) el Sol es un disco muy delgado y la Tierra es otro disco o trapecio sostenido por una capa de aire comprimido, que no escapa debido a las grandes dimensiones del disco.

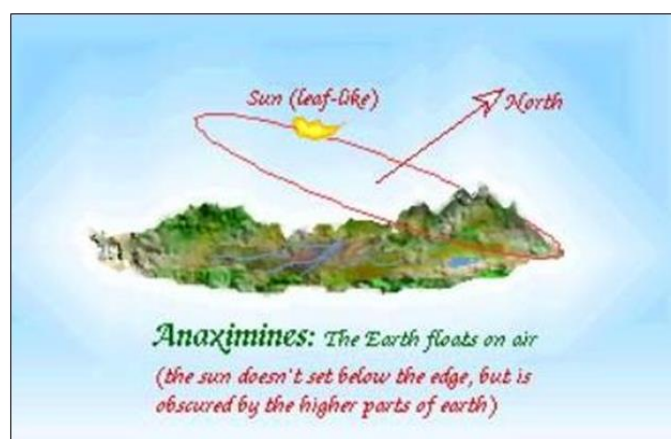


Figura 2.32: La Tierra según Anaxímenes (570-500 AC). Fuente: <http://filocienciaq1.blogspot.com/2014/08/aportes-anaximenes.html>

Pitágoras de Samos (582-500 a. C.) cuyo razonamiento sostenía que siendo El Sol y La Luna esféricos, la Tierra también lo era. Filolao, discípulo de la escuela

pitagórica, fue el primero en afirmar que el universo no era geocéntrico. El Sol y todos los otros cuerpos giran alrededor de un fuego central (Hestia). Explicó la sucesión de los días y las noches postulando la rotación terrestre.

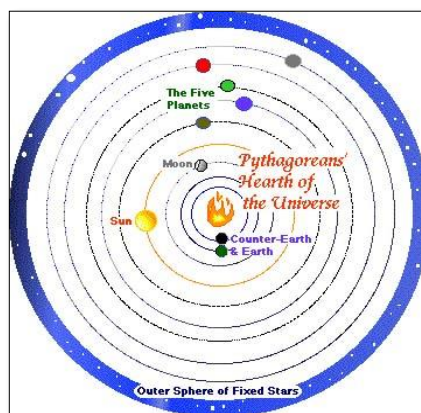


Figura 33: Razonamiento Pitagórico (582-500 AC). Fuente: <https://virtual.uptc.edu.co/ova/estadistica/docs/autores/pag/mat/pitagoras-2.asp.htm>

Aristóteles (384-322 a.C.). En su sistema del mundo la Tierra ocupa el centro del Universo y está fija.

A su alrededor se suceden las regiones del agua, del aire y del fuego. Afirma la forma esférica de la Tierra por la sombra de la tierra sobre la Luna durante los eclipses, la aparición y desaparición de constelaciones cuando se marcha de Norte a Sur o viceversa y por la forma en que desaparecen los barcos en el horizonte.

Admitiendo la esfericidad de la Tierra, Eratóstenes de Cyrene, (284-192 a.C.), director de la biblioteca del Museo de Alejandría, es el primero que desarrolla un

método científico para calcular el radio terrestre, pudiendo considerarse el fundador de la Geodesia.

El punto de partida lo constituyen las observaciones y datos siguientes: El día del solsticio de verano, al mediodía los rayos solares inciden perpendicularmente en Siena (hoy Asuán a la orilla del Nilo) iluminando el fondo de los pozos. En el mismo día y hora, en Alejandría la sombra de un obelisco permite determinar que los rayos solares forman con la vertical un ángulo de $7^{\circ} 12'$, es decir $1/50$ de circunferencia. Supone que los rayos del Sol forman un haz paralelo.

Considera, además:

1. Que el Sol se encuentra exactamente sobre la línea del Trópico de Cáncer al mediodía del solsticio de verano, por lo que llegó a la conclusión que Siena estaba sobre esta línea.
2. Que Alejandría y Siena se encuentran en una dirección Norte-Sur, exactamente en el mismo meridiano.
3. Que la distancia lineal entre las dos ciudades es de 5,000.00 estadios.

Concluye que la desviación angular respecto a la vertical en Alejandría es exactamente el ángulo que forman las verticales en el centro de la esfera. Luego El Meridiano tiene una longitud de 250,000.00 estadios. Si se usa el estadio de 185 metros, obtuvo un valor de 46,250.00 kilómetros.

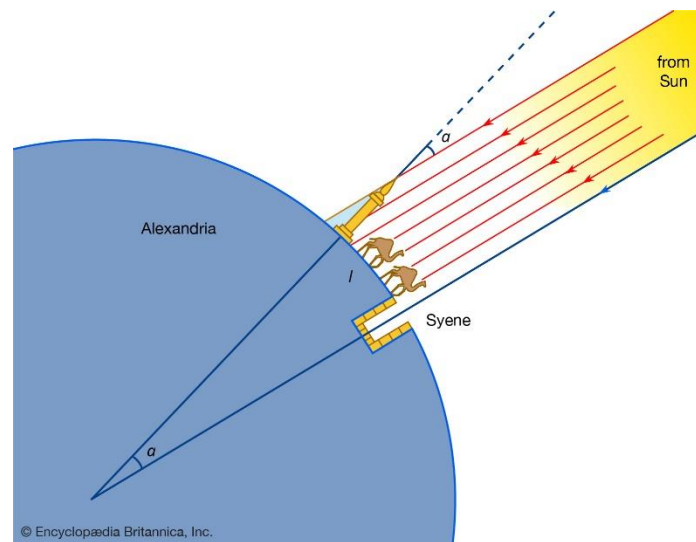


Figura 2.34: Método de los arcos de Eratóstenes. Fuente: <https://www.britannica.com/biography/eratosthenes>

Pese a la notable exactitud, se cree que los resultados obtenidos fueron afortunados, ya que existieron elementos de juicio equivocados en tal determinación como, por ejemplo: Aunque es cierto que los rayos solares inciden perpendicularmente al mediodía del solsticio de verano en el Trópico de Cáncer, Asuán no está exactamente en el Trópico, está 37 millas al norte. Asuán no está en el mismo meridiano que Alejandría, la diferencia de longitud es de $3^{\circ} 30'$ y a diferencia de latitud es de $7^{\circ} 5'$.

Así mismo existen varias hipótesis de como determinó la distancia de 5,000.00 estadios. Unos dicen que basándose en el hecho que una caravana de camellos se desplazaba unos 100 estadios por día, y que se empleaban 50 días para llegar de una ciudad a otra. Otros que empleó un mapa catastral Egipcio, de los que disponía en la biblioteca de Alejandría, de la cual era director.

Pese a la equivocación en los elementos que fueron asumidos para llevar a cabo tal experimento, esta medición del tamaño de la Tierra fue un importante progreso para la época.

En el siglo XVII una nueva etapa en el estudio de la forma y dimensiones de la Tierra comenzó después que la ley de gravitación universal fuera enunciada por Newton.

Partiendo de la suposición de que nuestro planeta en otros tiempos estuvo en un estado de líquido incandescente, Newton postuló que la Tierra debería tener una forma de esferoide aplastada en los Polos debido al movimiento de rotación terrestre que genera una fuerza centrífuga normal al eje, que adquiere un valor máximo en el Ecuador hasta anularse en los Polos.

El francés Cassini, a partir de mediciones erróneas anuncia un esferoide alargado en los Polos. Se produce entonces una fuerte controversia entre ambos científicos.

Esta teoría se podía comprobar determinando la longitud de arcos de Meridianos correspondiente a una variación de latitud de un grado. Si la longitud de un arco de Meridiano determinado, resultara mayor que otro más alejado del Ecuador, quedaría demostrado el achatamiento de la Tierra en los Polos.

En el siglo XVIII se resuelve la controversia a partir de dos expediciones Geodésicas que dispuso realizar la Academia de Ciencias de París: una a Laponia cercana a la latitud 66° y otra al Perú cercana al Ecuador. En dichas

expediciones se determinó la longitud de arcos de Meridianos correspondiente a una variación de latitud de un grado. Los resultados de estas expediciones confirmaron la concepción de Newton.

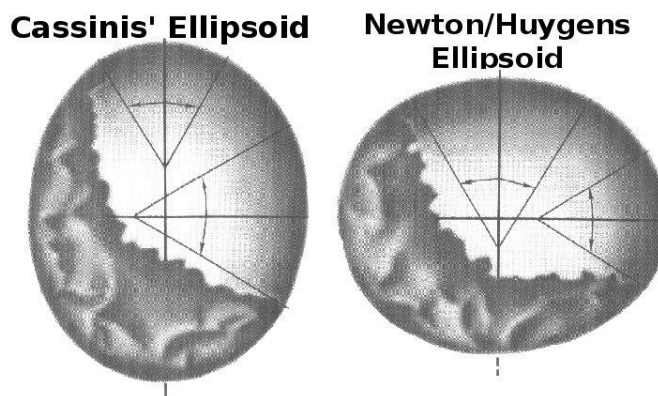


Figura 2.35: Forma esferoide de La Tierra. Fuente: <https://culturacientifica.com/2018/04/20/antonio-de-ulloa-el-marino-que-leia-a-newton/cassini-vs-newton/>

En la primera mitad del siglo XX el método utilizado para los levantamientos Geodésicos fue fundamentalmente el de triangulación que consistía en mediciones angulares.

En la segunda mitad del siglo XX irrumpieron los Electrodistanciómetros, facilitando notablemente la medición de distancias con adecuada precisión, lo cual generó predilección por la trilateración. Pese a los notables avances, este tipo de métodos tradicionales tenían como limitante la visibilidad para las observaciones, los levantamientos exigían ubicar puntos de observación en la cima de las montañas y torres especiales fueron desarrolladas con el objetivo de aumentar el alcance de las observaciones astronómicas.

Sobre fines del siglo XX Los Geodestas tienen acceso masivo a la tecnología GPS, que permite el posicionamiento preciso de puntos terrestres a partir de señales provenientes de Satélites artificiales diseñados para ese fin.

2.1.3 Objetivos e importancia de la Geodesia.

La Geodesia como una ciencia básica y a partir de sus fundamentos fisicomatemáticos, suministra a través de sus teorías, resultados, mediciones y cálculos, la referencia geométrica para las demás geociencias como también para la Geomática, Los Sistemas de Información Geográfica, Cartografía, Catastro, Topografía, Fotogrametría, La Planificación, La Ingeniería, La Construcción, El Urbanismo, La Navegación Aérea, Marítima y Terrestre, entre otros, e inclusive, para aplicaciones militares y programas espaciales.

El estudio de las mareas terrestres o variaciones periódicas de la vertical también es objeto de la Geodesia, cuyas conclusiones al respecto son de sumo interés para la Astronomía y La Geofísica. Se estudian fundamentalmente las acciones atractivas del Sol y la Luna sobre la Tierra, la teoría del movimiento de estos astros es bien conocida. La observación del fenómeno consiste en la medida de las desviaciones provocadas en la vertical física, en sus componentes vertical y horizontales.

Este es el objeto de la Geodesia en su forma general, sin embargo, no debemos olvidar otros fines prácticos de lo que podríamos llamar Geodesia regional o utilitaria. Nos referimos a su aplicación a la formación de cartas o mapas en su

más amplio sentido, incluyendo desde la carta topográfica fundamental de un país a las cartas o mapas especiales para fines concretos. En estos menesteres la Geodesia debe proporcionar la infraestructura geométrica necesaria y efectuar mediciones precisas de distancias, ángulos, altitudes, orientaciones observaciones a satélites, etc.

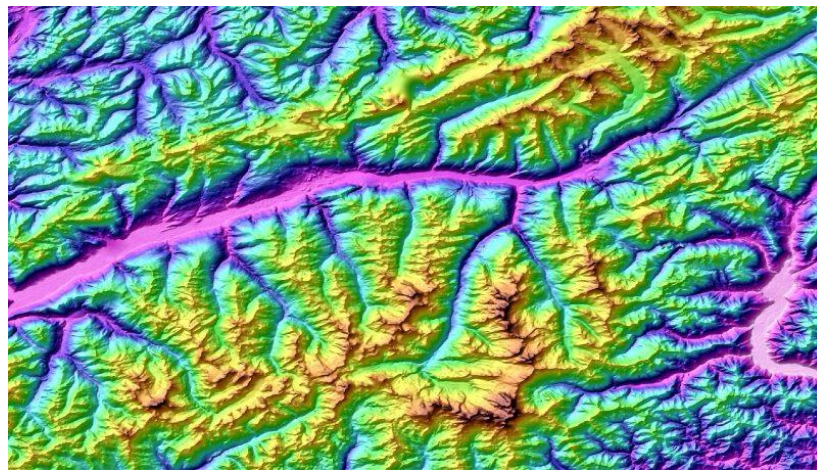


Figura 2.36: Objetivos e importancias de la geodesia. Fuente: <https://www.euston96.com/geodesia/>

La formulación matemática se trata en la teoría de Redes Geodésicas. Como ejemplos, Las Cartas Hidrográficas para la navegación o las cartas planimétricas de empleo en agrimensura o catastro implican, cada una de ellas, una Geodesia particular con métodos apropiados. Tanto la medida geométrica de emplazamiento de radiofaros, torres de control, antenas, como los apoyos de base para construcción de túneles, acueductos o autopistas incumbe en parte a la Geodesia.

También debemos incluir los estudios del medio ambiente, búsqueda de recursos mineros y energéticos, sobre todo para fijar áreas de explotación y zonas de prospección para concesiones. Estas y otras necesidades civiles hacen que se desarrollen métodos precisos y se utilicen tanto las técnicas clásicas como los modernos Satélites artificiales.

Mención aparte debemos hacer al estudio de deformaciones de la corteza. La precisión alcanzada por los instrumentos de medida geodésicos es tan alta que pueden detectarse movimientos de la corteza del orden del milímetro. Esto abre un nuevo campo de actuación en el que entran de lleno los estudios de control de zonas activas de la corteza, los parámetros determinados pueden utilizarse como precursores de desastres naturales como en el caso de terremotos o erupciones volcánicas y su conexión con la geodinámica del planeta.

Citemos por último las grandes aplicaciones de la Microtriangulación o fijación de posiciones relativas de puntos con precisiones del orden de la décima de milímetro. Esta precisión es necesaria en el control de ciertas instalaciones tales como fábricas de funcionamiento automático, centrales nucleares, instalación de radiotelescopios y en el estudio de deformación de presas y de grandes estructuras, etc.

Es una ciencia sumamente relevante para los ingenieros, Los Arquitectos y los Geólogos, ya que está estrechamente ligada con la Tierra, sin esta no se podrían

evaluar varias áreas y fenómenos del elemento en cuestión, que posiblemente a futuro puedan poner en peligro a la sociedad.

2.1.4 Levantamientos geodésicos con GNSS.

2.1.4.1 Método estático.

Los Receptores se quedan fijos sobre las respectivas estaciones. Es el método de posicionamiento clásico de observación de medidas de líneas base superior a 15 km con el máximo de precisión. Una línea base es un par de estaciones donde las observaciones GPS han sido registradas simultáneamente.

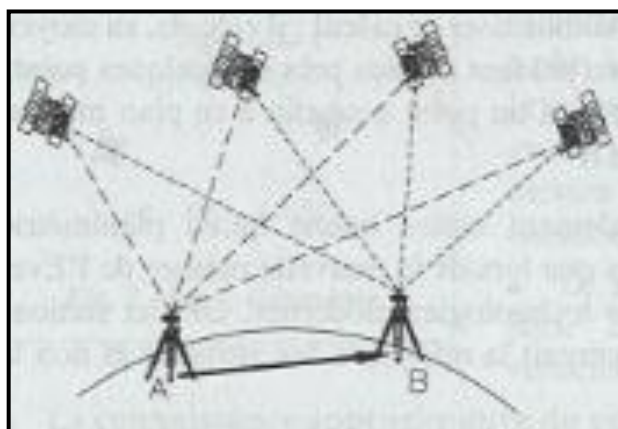


Figura 2.37: Método Estático. Fuente: http://qlmimport.com.pe/?page_id=816

La medición estática ha sido durante años el soporte principal de GPS. Es la más exacta y sencilla pero la más lenta. En efecto, la recepción de las señales de los satélites tiene que estar perfecta, sin corte, y los receptores tienen que quedarse inmóviles.

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

Tenemos que hacer una diferencia entre:

GPS monofrecuencia:

- Mediciones de fases sobre L1.
- Tiempo de observación: 1 hora.
- Distancias hasta 20 km en zona templada, 10 km en zona ecuatorial.

GPS bifrecuencia:

- Mediciones de fases sobre L1 y L2.
- Tiempo de observación: 1 a 4 horas.
- Distancias hasta 300 km.

GPS ultrapreciso:

- Mediciones de fases sobre L1 y L2.
- Tiempo de observación: 1 a varios días.
- Distancias hasta 5000 km.

Esta técnica de medición no es recomendable para levantamientos topográficos, ya que sus usos son para **Geodesia Pura** como, por ejemplo:

- Determinación de Redes Geodésicas de alta precisión milimétrica,
- Establecimiento de puntos de Control Geodésicos,

- Control de movimientos tectónicos y deformación de Volcanes,
- Control de deformación en Diques y otras estructuras.

Ejemplo de observación:

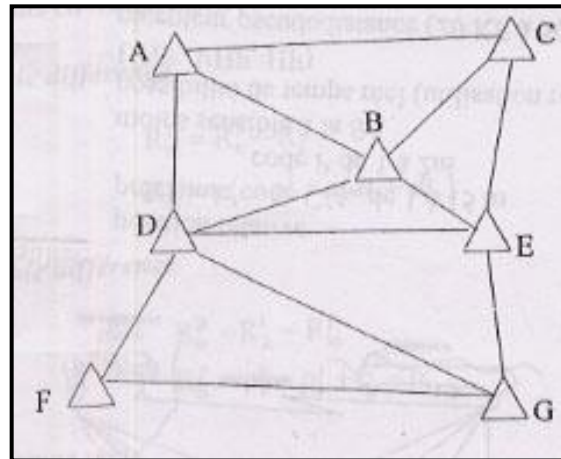


Figura 2.38: Observación Método Estático. Fuente: GPS aplicado a proyectos de ingeniería civil, Wilfredo Amaya Zelaya.

2.1.4.2 Método estático rápido.

Este método requiere un tiempo de observación corto: Al menos 5 minutos para el Rover Móvil. Además, las líneas bases serán inferiores a 15 km. La estación de referencia debe captar de continuo las señales durante la misión GPS.

Este método lo distingue principalmente el hecho de que se requieren receptores de doble frecuencia con código P para llevarlo a cabo.

La técnica en el campo es similar a la Medición Estática, exceptuando por los tiempos de ocupación que son más cortos. Típicamente una medición estática de 1 o más de duración, puede ser realizada en 5 ó 20 minutos, dependiendo de la

cantidad de Satélites disponibles, la configuración y longitud de la línea base a medir.

La gran importancia de este método es la capacidad de poder medir líneas bases en tiempos más cortos que el estático tradicional, pudiendo visitar varios sitios sin necesidad de tener que mantener todo el tiempo atrapando la señal de los Satélites. Con este método usted puede apagar su Receptor Móvil mientras se traslada de un sitio a otro. (La Estación Base debe permanecer recibiendo la información todo el tiempo).

Esta técnica de medición es recomendable para:

- Densificación de redes.
- Levantamientos de control.
- Sustituye a la Poligonación.
- Levantamiento de detalles.
- Cualquier trabajo que requiera la determinación rápida de un elevado número de puntos.

Ejemplo de observación:

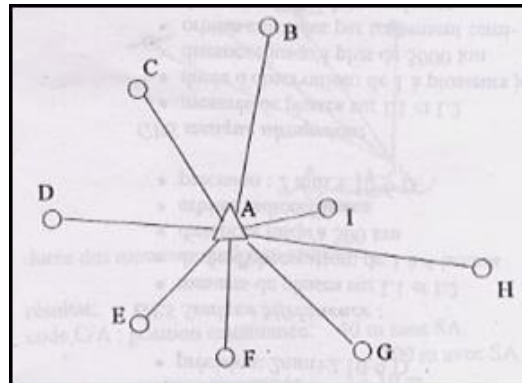


Figura 2.39: Observación Método Estático Rápido. Fuente: GPS aplicado a proyectos de ingeniería civil, Wilfredo Amaya Zelaya.

2.1.4.3 Método cinemático.

En esta técnica, se sitúa un Receptor (llamado BASE) sobre un punto de referencia conocido A, mientras el otro punto B (llamado ROVER), se desplaza por la zona del proyecto, observando los puntos de interés, durante un tiempo de 1 a 5 minutos.

Después de una primera etapa de inicialización estática en B, el Receptor Móvil posee suficientes datos para resolver las ambigüedades y entonces calcular su posición en relativo en referencia al Receptor Fijo.

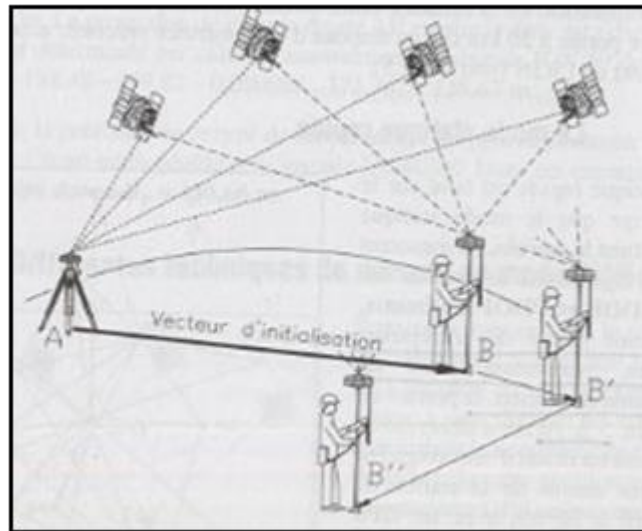


Figura 2.40: Método Cinemático. Fuente: GPS aplicado a proyectos de ingeniería civil, Wilfredo Amaya Zelaya.

Si desplazamos el Receptor Móvil sin cortar el contacto con los satélites, las ambigüedades quedan determinadas y los puntos siguientes de la cadena cinemática (B', B'') serán determinados casi instantáneamente.

Esta técnica de medición es recomendable para:

- Levantamiento de detalles en zona despejada.
- Levantamientos de ejes de carreteras.
- Medición de perfiles transversales.
- Navegación.

2.1.4.4 Método Pseudo-Cinemático.

Es el método utilizado cuando no se pueda llevar a cabo El Método Estático Rápido. Se puede utilizar solamente 4 Satélites para cada una de las posiciones

búsquedas. Con éste tenemos un poco más flexibilidad que con el Estático Rápido, pero se tiene que observar cada punto una segunda vez con un intervalo de por lo menos 1 hora.

En el desplazamiento entre estaciones, El Receptor Móvil no es necesario mantenerlo en funcionamiento. También este método se denomina de reocupación (o Stop & Go).

El ocupar dos veces el mismo punto tras el período de una hora permite que la geometría de los Satélites haya variado sustancialmente y por tanto pueda resolverse la ambigüedad inicial con la misma garantía que una observación mucho más larga. La reocupación de un punto determinado debe de efectuarse con el mismo Receptor que observó la primera vez en este punto.

Las aplicaciones son similares al método Estático-Rápido:

- Levantamiento de detalles en zona despejada.
- Levantamientos de ejes de carreteras.
- Medición de perfiles transversales.
- Navegación.

Ejemplo de observación:

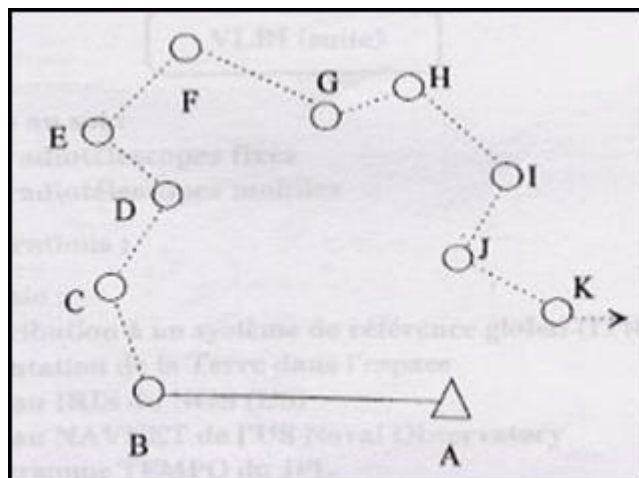


Figura 2.41: Método Pseudo-Cinemático. Fuente: GPS aplicado a proyectos de ingeniería civil, Wilfredo Amaya Zelaya.

2.1.4.5 Método Cinemático en Tiempo real (Real Kinematic Time o RTK).

El principal inconveniente con los métodos precedentes es no dar las informaciones directamente en el campo, pero solamente en post-tratamiento.

Todas las técnicas de medición descritas anteriormente, se realizan con una descarga o transferencia de datos crudos a la computadora, bajo un software determinado para su procesamiento y posterior ajuste.

El usuario se da cuenta *a posteriori* de la calidad de las mediciones; eso puede provocar malas sorpresas y obligar a hacer otra vez el mismo trabajo.

La técnica consiste en programar el Receptor Móvil llamado Rover para que guarde lecturas de posición a lo largo de una línea continua cada cierto tiempo, podría ser cada 5 segundos para obtener el perfil de un eje de calle, cordón

cuneta o sección transversal. El Rover siempre comunicado con la base desplazándose a una velocidad uniforme a lo largo de la línea de interés.

El método cinemático en tiempo real permite conocer inmediatamente las coordenadas del Receptor Móvil; eso permite hacer implantación con GPS, comprobar a cualquier momento la calidad de las mediciones efectuadas y ver los cortes de señal.

Un Receptor (BASE) se ubica en una estación de referencia conocida y uno o más receptores llamados (ROVER) se desplazan de un punto a otro. El receptor de la estación base está transmitiendo observaciones no corregidas de GPS. El receptor móvil rastrea señales de los satélites y del receptor de la estación BASE.

Esta técnica se apoya en un enlace de radio MODEM que transmite los datos GPS del receptor BASE a los ROVER. Luego el ROVER procesa los datos conforme se colectan.

Esta técnica de medición es recomendable para:

- Levantamiento de control.
- Levantamientos de detalles.
- Medición de perfiles, volúmenes.
- Replanteo.
- Localización de detalles.

Descripción del trabajo de campo método RTK.

1. Se instala un GPS a utilizar como Receptor Base, éste permanecerá fijo, correctamente centrado y nivelado en el punto de coordenadas conocidas.
2. El Receptor Móvil se instala en un bastón con burbuja de nivelación, sin embargo, para trabajos que requieren mayores precisiones se recomienda utilizar el sistema trípode-bastón. El Móvil se coloca en cada uno de los puntos a levantar.
3. Se debe configurar el equipo en dos partes, se configura el Receptor BASE en el colector con todos los parámetros relevantes; como la altura de la antena, la máscara de elevación y el tipo de conexión entre Colector y Receptor.
4. Se configuran los parámetros del equipo que funcionará como Rover (Móvil), y la comunicación entre el Receptor y Colector, para la técnica RTK se recomienda que sea mediante Bluetooth. Seleccionar el equipo correspondiente al Rover.

Nota: El Colector y el Rover deben permanecer a una distancia no mayor a tres metros entre sí.

5. Una vez configurada la Base y El Rover, se inicia el levantamiento, se sitúa El Rover sobre cada punto de interés tomando como consideración que la burbuja del bastón esté correctamente centrada y que los parámetros satelitales para realizar la medición sean aceptables.

2.2 Unidades de medida.

Para configurar los equipos GNSS se usarán los siguientes sistemas de referencia:

- Global (WGS84) .
- Local (Lambert SIRGAS-ES2007).

Sistema de referencia LAMBERT SIRGAS-ES2007.

En El Salvador, se utilizó la proyección cónica conforme Lambert asociada al Elipsoide Clarke 1866 hasta el año 2016.

A partir del año 2017 es aprobada por el Instituto Geográfico Nacional la nueva proyección cartográfica denominada: Proyección Cónica Conformal de Lambert SIRGAS-ES2007 la cual está vinculada al nuevo sistema geodésico de referencia de El Salvador denominado SIRGAS-ES2007. tanto el sistema de referencia geodésico como la proyección cartográfica fue avalada y certificada por la Asociación Internacional de Geodesia (IAG).

PROYECCION CONICA CONFORMAL DE LAMBERT SIRGAS-ES2007

Proyección	
Coordenadas de entrada	Latitud (ϕ) y longitud (λ) referidas a WGS-84
Elipsoide	WGS-1984/GRS80
Semieje mayor	a = 6 378 137 m
Semieje menor	b = 6 356 752.31414 m
Achatamiento	1/f = 298.257222101
Excentricidad	e ² = 0,0066943800229
Parámetros de la proyección	
Falso Este	500 000,000 m
Falso Norte	295 809,184 m
Paralelo de origen	<u>13° 47' 03.477624"N (valor en SIRGAS)</u>
Meridiano de origen	<u>88° 59' 59.938692" W (valor en SIRGAS)</u>
1. paralelo estándar	<u>13° 19' 03.477624"N (valor en SIRGAS)</u>
2. paralelo estándar	<u>14° 15' 03.477624" N (valor en SIRGAS)</u>
Factor de escala en el meridiano origen:	0,999 96704

DATUM WGS-1984
Tx = 0 Ty = 0 Tz = 0

Figura 2.42: Parámetros de LAMBERT SIRGAS-ES2007. Fuente:
<https://es.slideshare.net/asoges/sistema-de-referencia-geocentrico-para-las-americas-sirgas-aplicado-a-el-salvador>

Los parámetros del Sistema Global se mostraron anteriormente en Tabla 2.2

2.3 Precisión y Exactitud.

La precisión depende del tipo de medición a utilizar, se muestran a continuación las precisiones para los diferentes métodos.

Modo estático

GPS monofrecuencia:

✓ Precisión: **5 mm + 2 ppm.**

GPS bifrecuencia:

✓ Precisión: **5 mm + 1 ppm**.

GPS ultrapreciso:

- Precisión: 10^{-8} D

Modo estático rápido

La precisión máxima es de: **(5 a 10 mm + 1 ppm)**.

Modo cinemático

La precisión máxima es de: **(1 cm + 2 ppm)**.

Modo Pseudo-Cinemático

La precisión máxima del método Pseudo-Cinemático es de: **(1 cm + 2 ppm)**.

Modo cinemático en tiempo real (RTK)

La precisión máxima es de: **(1 a 2 cm + 2 ppm)**.

2.4 Equipos con tecnología GNSS.

Receptores: Estos equipos son fundamentales porque tiene la función de recibir y decodificar las señales emitidas por los Satélites. Estos poseen una serie de botones y luces LED.



Figura 2.43: Receptores GNSS marca Trimble. Fuente: <https://es-la.geospatial.trimble.com/products-and-solutions/gnss-systems>

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



Figura 2.44: Colectores de información marca TRIMBLE. Fuente: <https://es-la.geospatial.trimble.com/products-and-solutions/gnss-systems>

Trípodes y Bastones

Estos dispositivos se utilizan para fijar el Receptor principal o el Rover para la captura de puntos.



Figura 2.45: Bastón y trípode. Fuente: <https://es-la.geospatial.trimble.com/products-and-solutions/gnss-systems>

2.5 Topografía.

2.5.1 Fundamentos básicos de Topografía.

Definición de Topografía.

La topografía (topos, “lugar”, y grafos, “descripción”) es una ciencia que estudia el conjunto de procedimientos para determinar las posiciones relativas de los puntos sobre la superficie de la tierra y debajo de la misma, mediante la combinación de las medidas según los tres elementos del espacio: distancia,

elevación y dirección. La Topografía explica los procedimientos y operaciones del trabajo de campo, los métodos de cálculo o procesamiento de datos y la representación del terreno en un plano o dibujo topográfico a escala.

La topografía tiene un campo de aplicación extenso, lo que la hace sumamente necesaria. Sin su conocimiento no podría el ingeniero o arquitecto realizar sus proyectos. Sin un buen plano topográfico no es posible proyectar debidamente un edificio o trazar un fraccionamiento, ya que en principio la topografía ayuda a determinar los linderos de propiedad con sus divisiones interiores, la localización de vialidades y servicios municipales; la configuración del relieve del terreno con sus montes, valles, barrancos, bosques, pantanos, etc. y en general del conocimiento de todas aquellas particularidades del terreno necesarias para la implantación de un proyecto en el sitio designado.

2.5.2 Antecedentes históricos de la topografía.

Es imposible determinar cuándo se utilizó por primera vez la topografía, pero seguramente, en su forma más simple es tan antigua como la civilización misma.

Desde que existe el principio de propiedad de la tierra, se han identificado métodos para medirla o para identificar la que pertenece a una persona respecto a la de otra. Aun en el *Antiguo Testamento*, frecuentemente se encuentran frases que hacen referencia a la tenencia de la tierra, a los linderos y a la transferencia de propiedades.

Pero es importante mencionar que desde antes de nuestra era se pueden encontrar rastros de los hombres tratando de orientarse y representar su entorno, en Turquía fue encontrado en la década de los sesenta el primer acercamiento a lo que podría llamarse el primer mapa; se trata de un mural que data de alrededor del 6200 A.C con la ubicación de casi 80 edificaciones y un volcán. Lo que nos lleva a pensar que tal vez la cartografía antecedió a la escritura estructurada que conocemos hoy.

Los sumerios, fueron la primera cultura urbana conocida, que poseía conocimientos en matemáticas y astronomía, aplicaban la geometría práctica (topografía) en la construcción de obras de arquitectura y canales de riego. Las construcciones hacen suponer el empleo de algún primitivo y rudimentario instrumento de medición.

Los babilonios, bajo el mando del rey Nabucodonosor célebre más que por sus conquistas, por la construcción de la Ciudad, en la cual levantó numerosos palacios, templos y puentes, una gran muralla de 25 m de espesor que rodeaba toda la ciudad; además de los jardines colgantes, la disposición de las manzanas con calles rectas, que se cortaban perpendicularmente. El sistema numérico era sexagesimal (el círculo graduado tenía 360°). Los arqueólogos han encontrado la posición y localización de señales sobre piedras que datan de la era babilónica y que se suponen que eran marcas de los topógrafos de la antigüedad para medir los territorios.

Los asirios, asombraron con sus construcciones sobre terrazas con escaleras, rampas, desniveles y planos inclinados.

Los persas, construyeron la ciudad de Persépolis, en la cual se observan varios ejes de simetría rigurosamente perpendiculares entre sí. También es de destacar el templo mandado a construir por Salomón, rey hebreo, 950 a.C., que tenía 450m x 300m proyectado por Arquitectos y replanteado por Geómetras Fenicios traídos expresamente para ello.

Los egipcios, realizaron los primeros esfuerzos del acondicionamiento del valle del Nilo, el cultivo de las tierras del valle sólo podía hacerse bajo una doble condición se debía proceder a desecar los terrenos cenagosos de los bordes del lecho del río una vez terminada la crecida, había que irrigar los campos. Para ello crearon un sistema de drenaje, con diques y azudes niveladores y canales de riego.

Los romanos, con una mente muy práctica aplicaron lo desarrollado por otros pueblos y crearon una red de caminos que cubría todo su imperio, de los cuales algunos tramos aún sobreviven. Los acueductos también formaban parte de sus necesidades para alimentar los baños romanos de los centros urbanos y para transportar el agua.

2.5.3 Objetivos e importancia de la topografía.

Objetivo.

Las actividades fundamentales de la topografía son el levantamiento y el trazo. El levantamiento comprende las operaciones necesarias para la obtención de datos de campo útiles para poder representar un terreno por medio de su figura semejante en un plano; el trazo o replanteo es el procedimiento operacional por medio del cual se establecen en el terreno las condiciones establecidas o proyectadas en un plano. En el ejercicio de la topografía, esta se relaciona con distintas disciplinas.

Relación de la topografía con otras ciencias.

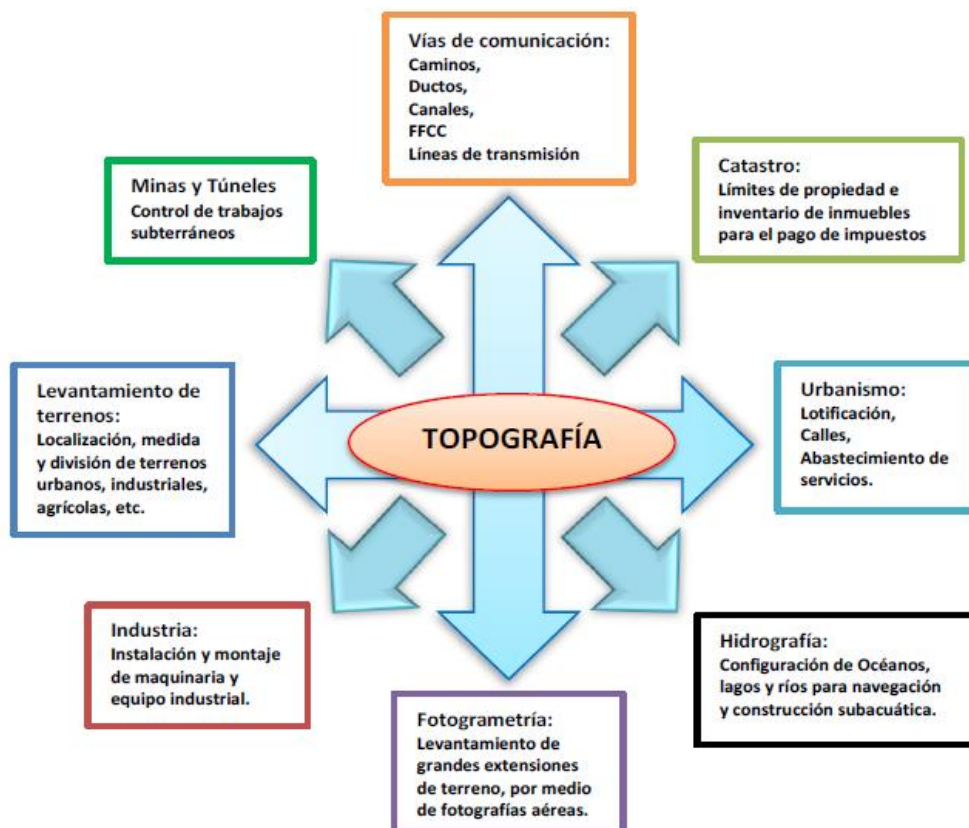


Figura 2.46: Relación de la topografía con otras ciencias. Fuente: <https://sites.google.com/site/topografiacegg/introduccion>

Importancia de la topografía.

Para un Ingeniero, aun cuando nunca practique la topografía, le puede ayudar a:

- Pensar de forma lógica, planear un trabajo cuidadoso y preciso y registrarlo de forma limpia y ordenada,
- Aprender sobre la importancia relativa de las mediciones,
- Desarrollar un sentido de la proporción (¿qué es importante y qué no?),
- Adquirir el hábito de revisar los cálculos numéricos y las mediciones;
- También se puede encontrar el Ingeniero en una posición en la que debe tomar decisiones referentes a la contratación de servicios topográficos. Sin un entendimiento básico del tema no será capaz de manejar la situación.

2.5.4 Levantamientos topográficos

El conjunto de operaciones necesarias para determinar las posiciones de puntos en la superficie de la tierra, tanto en planta como en altura, los cálculos correspondientes y la representación en un plano (trabajo de campo + trabajo de oficina) es lo que comúnmente se llama "Levantamiento Topográfico".

ETAPAS DEL PROCESO TOPOGRAFICO

1. *Trabajo de Campo,*
2. *Trabajo de Gabinete u Oficina (Cálculo y Procesamiento de Datos y Dibujo o Representación a Escala)*

El trabajo de campo debe quedar registrado en notas que contienen mediciones, croquis, descripciones, observaciones y otra información variada. Ese registro

puede ser llevado a mano en libretas, mediante recolectores electrónicos o con una combinación de estos métodos.

Sin importar la manera como se tomen, los datos de campo son los únicos registros permanentes del trabajo y la base para el trabajo de oficina, por lo tanto, deben estar completos, correctos y ser claros; de lo contrario, se perderán todo el tiempo y dinero invertidos.

Las notas manuscritas deben tener las siguientes características:

- ✓ Exactitud
- ✓ Integridad: Que las notas estén completas y no hayan sido alteradas.
- ✓ Legibilidad: Usualmente quien lleva los apuntes no es el mismo que los va a usar en la oficina.
- ✓ Adecuación
- ✓ Claridad: El papel es relativamente barato y no vale la pena amontonar las notas.

Otras recomendaciones:

- ✓ No borrar: Si algún dato queda mal escrito debe tacharse con una línea y escribir encima el valor correcto.
- ✓ Las notas de campo son originales y son las que se toman en el momento en que se realizan las mediciones. No deben transcribirse “en limpio”. No se espera que un topógrafo pierda su tiempo libre copiando las notas garabateadas durante el día.

- ✓ Cuando se tenga duda acerca de la necesidad de alguna información, deberá incluirse y elaborarse un croquis. Es mejor tener información de más que de menos.

2.5.4.1 Método por radiación.

Consiste en colocar un punto más o menos al centro del terreno, desde el cual se pueda visualizar los mojones o vértices del polígono de lindero y algunos detalles importantes, luego localizarlos por radiación, midiendo los azimutes en base a un punto de coordenadas o eligiendo un punto de salida o el norte magnético.

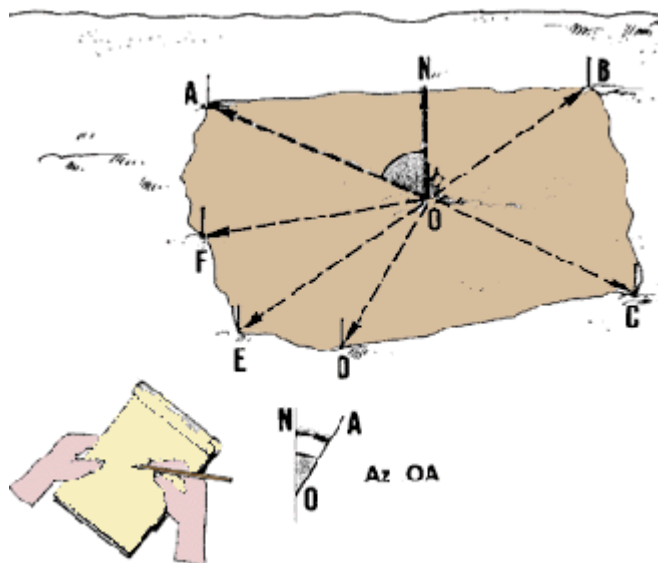


Figura 2.47: Representación de método de levantamiento topográfico por Radiación. Fuente: https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6707s/x6707s07.htm

2.5.4.2 Método por poligonación.

Cuando un terreno es muy grande o existen obstáculos que impiden la visibilidad (desde un solo punto) de todos los detalles del terreno, se emplea este método, el cual consiste en un polígono que siga aproximadamente los linderos del terreno. Desde cada vértice de la poligonal se tomarán los detalles del terreno que están cerca de este.

Una poligonal es una serie de líneas consecutivas cuyas longitudes y direcciones se han determinado a partir de mediciones angulares y lineales en el campo.

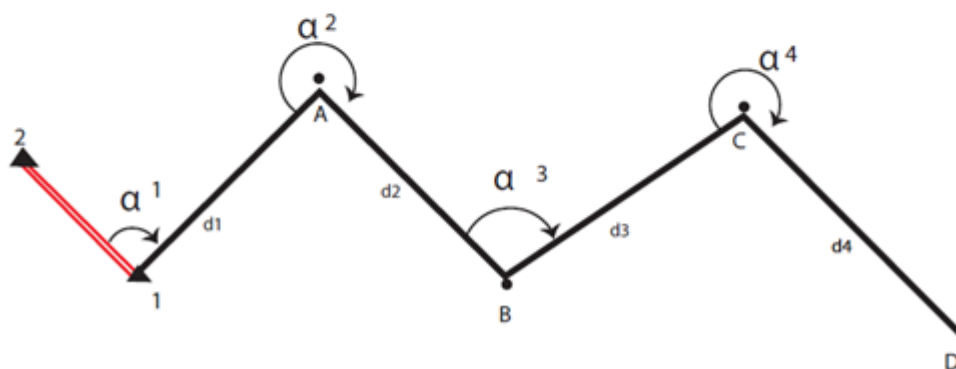
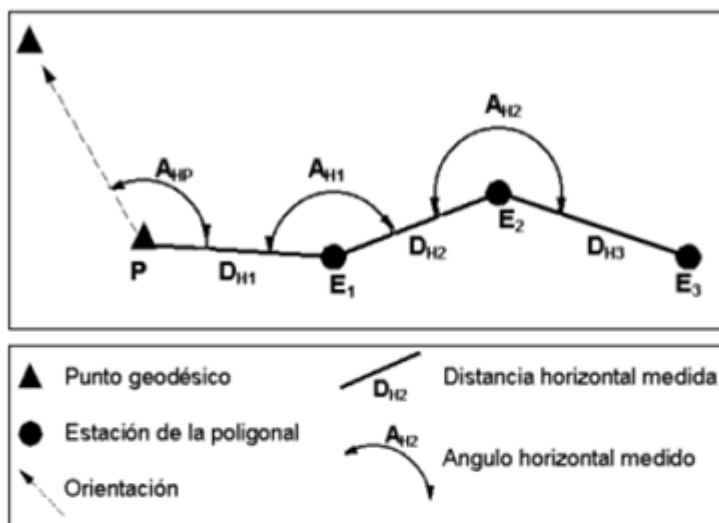


Figura 2.48: Representación de método de levantamiento topográfico por Poligonación.
 Fuente: <http://topografiadeobrasciviles.blogspot.com/2012/11/poligonal-topografica.html>

2.5.4.2.1 Poligonal abierta.

En una Poligonal abierta las líneas no regresan al punto de partida. Deben evitarse porque no ofrecen medio alguno de verificación por errores y equivocaciones.

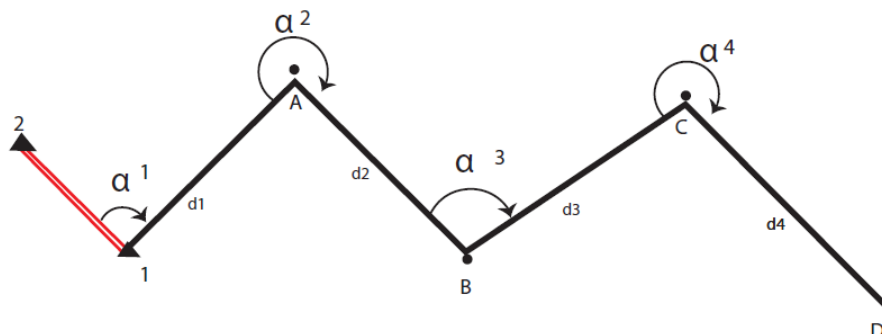


Figura 2.49: Representación de poligonal abierta. Fuente:

<http://topografiadeobrasciviles.blogspot.com/2012/11/poligonal-topografica.html>

2.5.4.2.2 Poligonal abierta con control geodésico.

Este tipo de Poligonal se le conoce como poligonal abierta geoméricamente, pero cerrada geodésicamente, es decir las líneas parten de 2 estaciones geodésicas y cierran en 1 ó 2 estaciones al final.

Se tiene un control de cierre en las que se conocen las coordenadas de los puntos inicial y final, y la orientación de las alineaciones inicial y final, siendo también posible efectuar los controles de cierre angular y lineal.

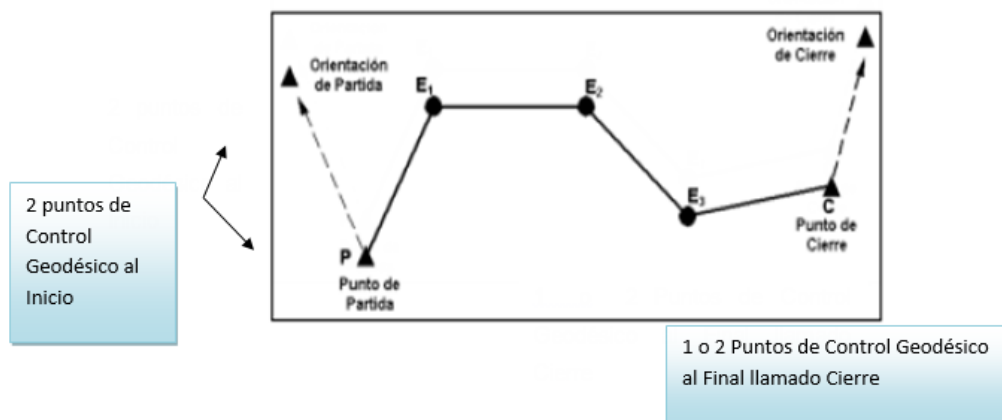
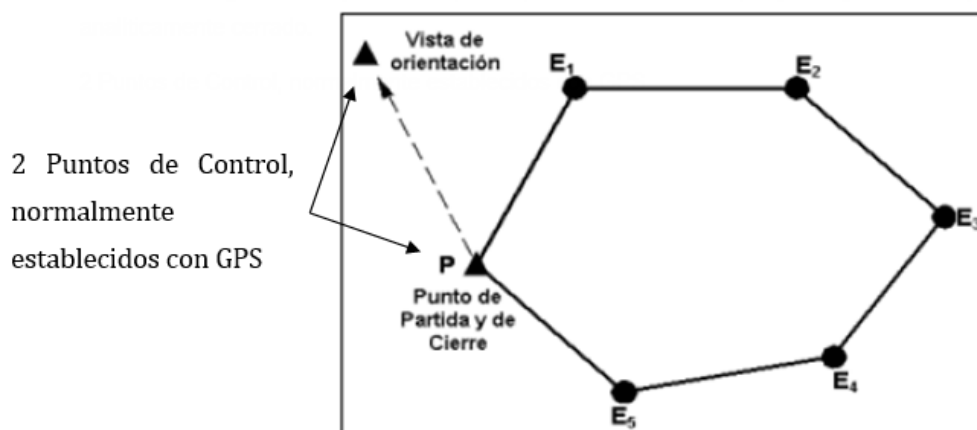


Figura 2.50: Puntos de control en una Poligonal abierta. Fuente:

<https://repositorio.umsa.bo/xmlui/bitstream/handle/123456789/11603/EG-1633-Cori%20Almondi%2C%20Henry%20Ovidio.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

2.5.4.2.3 Poligonal cerrada.

Las líneas regresan al punto de partida, formando así un polígono geométrica y analíticamente cerrado.



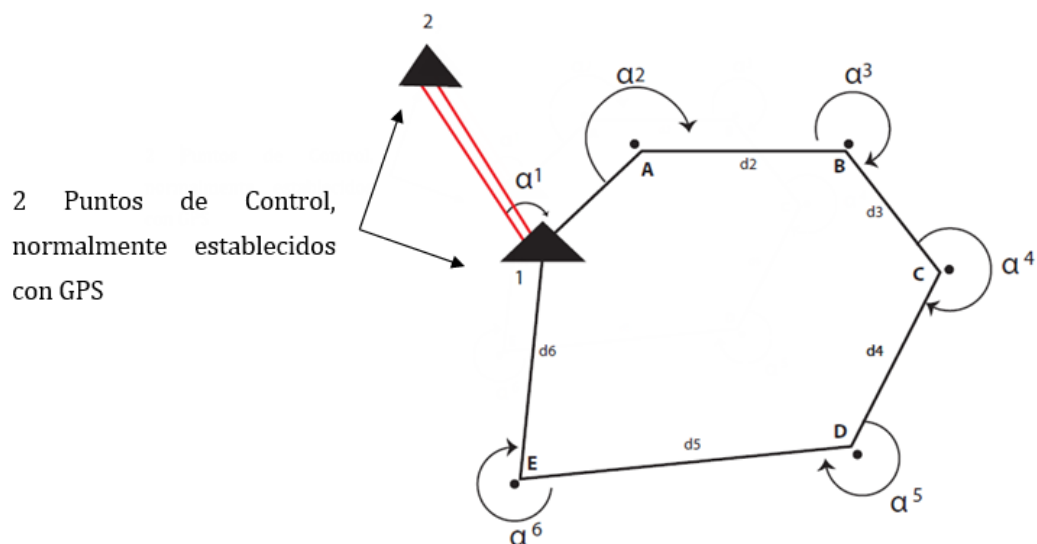


Figura 2.51: Representación de Poligonal cerrada. Fuente:

<http://topografiadeobrasciviles.blogspot.com/2012/11/poligonal-topografica.html>

2.6 Errores lineales y angulares.

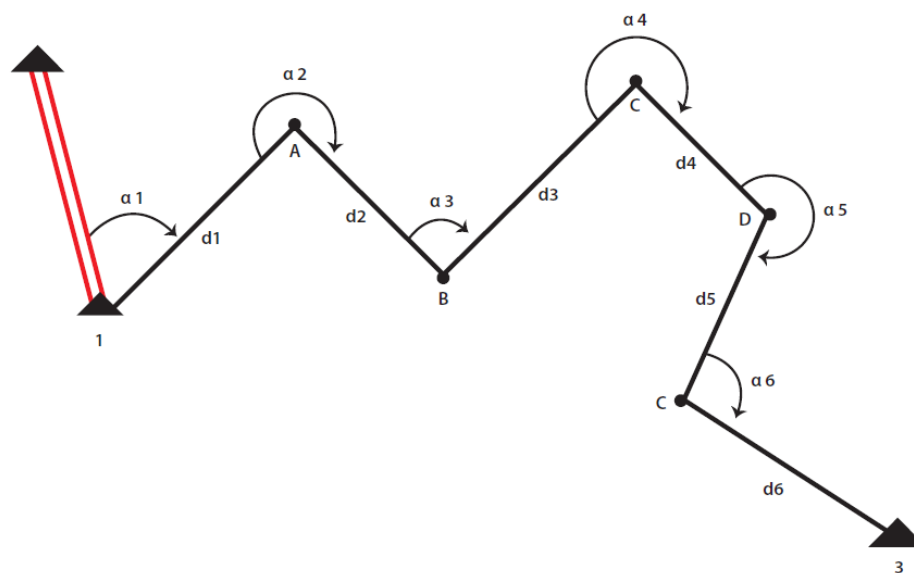


Figura 2.52: Representación de error de cierre en Poligonal abierta. Fuente:

<http://topografiadeobrasciviles.blogspot.com/2012/11/poligonal-topografica.html>

Dentro de las poligonales cerradas se producen 2 Tipos de errores:

1. Error angular.
2. Error lineal

Error de cierre en ángulo.

Es la diferencia entre la sumatoria de los ángulos de deflexión, medidos en el campo y el total correcto deducido geoméricamente para el polígono.

Para un polígono medido en el campo, la sumatoria teórica debe cumplir lo siguiente:

- La sumatoria de ángulos de deflexión teórica es de 360° .
- La sumatoria de ángulos exteriores, $(n+2) 180$.
- La sumatoria de ángulos interiores será igual a $(n-2) 180^\circ$; siendo n el número de lados.

Es muy frecuente que al sumar los ángulos no se encuentre exactamente el resultado teórico, sino que existe una pequeña diferencia, debido que el valor de cada ángulo es el más aproximado que es posible determinar.

- El error de cierre en ángulo (E_c) debe ser menor que la Error de cierre permisible (tolerancia), según las especificaciones de precisión. Así:
 - ✓ Levantamientos de poca precisión,
 $E_p = 0.4 \sqrt{n}$ en minutos.
 - ✓ Levantamiento de precisión.

$$E_p = 0.1 \sqrt{n} \text{ en minutos}$$

Si el error de cierre en ángulo nos resulta superior al valor especificado se deben revisar todos los ángulos observados y si el error de cierre se mantiene superior a la tolerancia, entonces habría que realizar nuevamente el levantamiento.

Si el error de cierre es menor que la cantidad especificada procedemos a repartirlo (compensar error) y continuar con los cálculos.

Reglas para compensar el error angular.

- Si la sumatoria es positiva $\square (+)$ y da más de 360° entonces la corrección se resta a las deflexiones positivas y se suma las deflexiones negativas.
- Si $\square (+)$ y da menos de 360° entonces a corrección se suma a las deflexiones positivas y se resta a las negativas.
- Si $\square (-)$ y da más de 360° entonces se resta a las deflexiones negativas y se suma a las positivas
- Si $\square (-)$ y da menos de 360° la corrección se suma a las deflexiones negativas y se resta a las positivas.

Error lineal o error de cierre en distancia.

Error de cierre en distancia.

En toda poligonal cerrada se realiza la suma de las proyecciones Norte, Sur, Este y Oeste.

Teóricamente las proyecciones Norte y Sur deben ser iguales, así como las proyecciones Este y Oeste

Por errores ocasionados en el campo al medir ángulos y distancias es normal que una poligonal no cierre al elaborar las sumatorias respectivas Norte, Sur y Este, Oeste

Este error puede calcularse con respecto a sus proyecciones Norte, Sur. y sus proyecciones Este y Oeste, con la siguiente fórmula:

$$Ed = \sqrt{(\sum N-S)^2 + (\sum E-W)^2}$$

- Se realiza la diferencia de la sumatoria Norte y Sur, el cual llamaremos error N-S.
- Se obtiene la diferencia de la sumatoria Este y Oeste, el cual llamaremos error E-W.

Con estos valores y evaluando la siguiente formula, se encuentra el error.

<u>Clase de Levantamiento</u>	<u>Error de cierre en distancia</u>	<u>Error Angular</u>
Levantamiento en terreno quebrado y de muy poco valor (generalmente taquimetría)	1:800	$e = \frac{a}{n}$
Levantamiento de terreno agrícola (con estadía)	1:1000	$e = 1'30'' \sqrt{n}$
Levantamientos urbanos y terrenos rurales de cierto valor	1:3000	$e = 1' \sqrt{n}$
Levantamiento en ciudades y terrenos bastante valiosos	1:5000	$e = 30'' \sqrt{n}$
Levantamientos Geodésicos	1:10,000	$e = 15'' \sqrt{n}$

Tabla 2.4: Errores permisibles máximos. Fuente: Topografía moderna con Estación Total y colector Tds

2.7 Unidades de medida.

Unidades de longitud.

La unidad fundamental es el metro, por lo que todas las dimensiones, coordenadas y niveles se expresan en esa unidad, a menos que por alguna practica en contrario se tenga que recurrir a otras unidades.

Unidades de superficie.

Se emplea como unidad de medida el metro cuadrado (m^2); para propósitos de deslinde de terrenos, se emplean también las siguientes unidades agrarias:

Centiárea = 1 m²

Área = 100 m²

Hectárea = 10,000 m²

Miriárea = 1'000,000 m²

Km² = 1'000,000 m²

Unidades angulares.

La unidad de medida es el grado sexagesimal, la relación con otros sistemas de unidades es la siguiente:

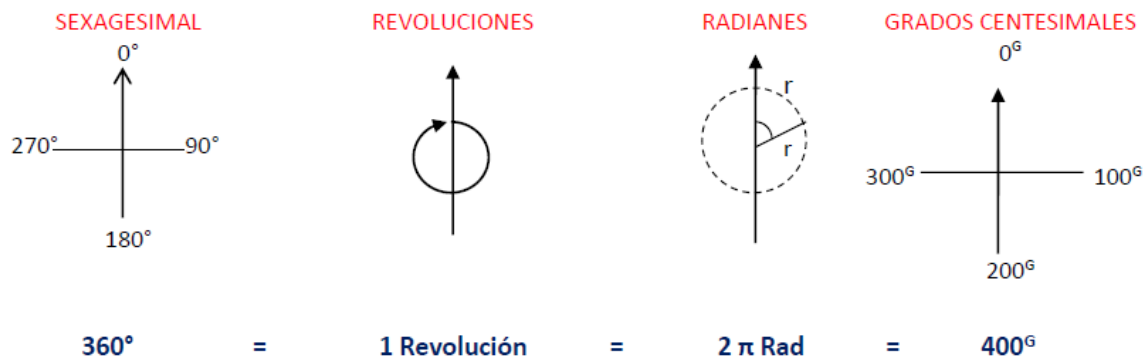


Figura 2.53: Unidades de medida angulares. Fuente: Topografía moderna con Estación Total y colector

Tds Recon Survey Pro, Ing. Wilfredo Amaya Zelaya.

Sistema sexagesimal.

La circunferencia es dividida en 360 partes. La unidad básica es el grado ($^\circ$), que se subdivide en 60 minutos (60'), y el minuto se subdivide en 60 segundos (60").



Este sistema es el empleado casi todo el mundo. Su uso es bastante generalizado, las correlaciones de las unidades de tiempo y de arco en astronomía (1 hora = 15°), y otras consideraciones, favorecen que continúe empleándose dicho sistema sexagesimal.

Sistema centesimal o Gones.

El uso de grados decimales en varios cálculos de ingeniería tiene ciertas ventajas. Esto condujo a la creación del sistema centesimal, en el cual la circunferencia está dividida en 400 partes, llamadas Grados Centesimales o Gones (g). Por tanto, $100g = 90^\circ$. El Grado Centesimal está dividido en 100 minutos centesimales (100c) y un minuto centesimal, en 100 segundos

centesimales (100c). Así, un ángulo puede expresarse como 236.4268 g, donde el primer par de dígitos después del punto representa minutos centesimales, y el segundo par de dígitos, segundos centesimales.

Resumen de las unidades de medida:

Mediciones Angulares:		Sistema Sexagesimal = 360°
		Sistema Centesimal= 400 Gones
		Relación = 90°=100 Gones
Mediciones Lineales:		Métricas (m, Km, cm, mm)
		Inglés (pulgadas, pies, yardas, millas)

Unidades de medida para representar áreas.

Hectárea: Ha = 10,000 mts²

1 Manzana: Mz = 10,000 Vrs²

Área; A= 100 mts²

Centiárea: Ca= 1 mts²

Factor de conversión: 1 mt² = 1.430828 vrs²

Definición de términos:

En todo levantamiento topográfico las direcciones de las líneas de los polígonos, se definen por un “RUMBO” o un “AZIMUT”.

AZIMUT: Es el ángulo medido en el sentido de las manecillas del reloj desde el extremo norte del meridiano de referencia, es decir es el ángulo derecho medido a partir del norte y oscila ente 0° - 360° .

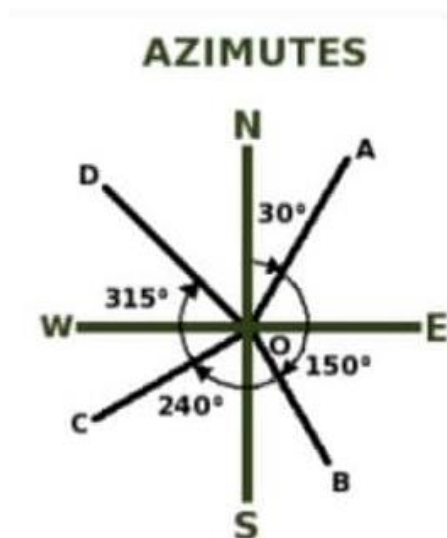


Figura 2.54: Azimut de una línea. Fuente: <https://topografia2.com/rumbo-y-azimut/>

RUMBO: Es el ángulo que define la dirección de una línea, medido a partir del NORTE o SUR en sentido positivo o negativo, y puede tener valores comprendidos entre 0-90.

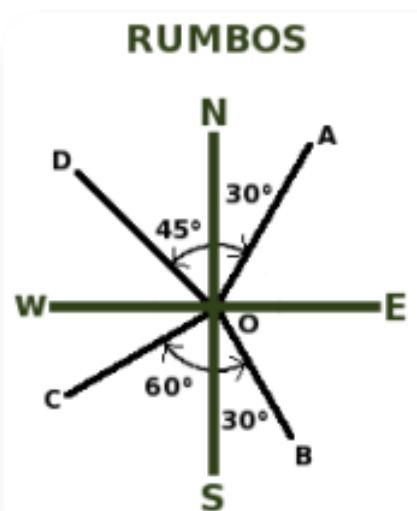


Figura 2.55: Rumbo de una línea. Fuente: <https://doblevia.wordpress.com/2007/07/25/direccion-de-una-linea-rumbo-y-azimut/>

2.8 Precisión y exactitud.

Quizá no se tenga muy claro qué puede significar cada una de estas palabras con "exactitud", pero sí se sabe con seguridad, que todos estos términos están relacionados con la calidad en una medida o la calidad de un dato espacial geográfico.

Exactitud y Precisión

- ✓ Precisión se refiere a la dispersión del conjunto de valores obtenidos de mediciones repetidas de una magnitud. Cuanto menor es la dispersión mayor la precisión (cercanía de una medición con la otra). Una medida común de la variabilidad es la desviación estándar de las mediciones y la precisión se puede estimar como una función de ella. Es importante resaltar que la automatización de diferentes pruebas o técnicas puede

producir un aumento de la precisión. Esto se debe a que, con dicha automatización, lo que logramos es una disminución de los errores manuales o su corrección inmediata. No hay que confundir resolución con precisión.

- ✓ Exactitud se refiere a cuán cerca del valor real se encuentra el valor medido. En términos estadísticos, la exactitud está relacionada con el sesgo de una estimación. Cuanto menor es el sesgo más exacto es una estimación. Cuando se expresa la exactitud de un resultado, se expresa mediante el error absoluto que es la diferencia entre el valor experimental y el valor verdadero.

Como ejemplo de precisión y exactitud pongamos los disparos a un círculo, la precisión y la exactitud en el disparo, tienen que ver con la proximidad de los disparos entre sí: precisión, y con la concentración de los disparos alrededor del centro del círculo: exactitud,

En la figura 2.56, tiene un alto grado de precisión dado que todos los disparos se concentran en un espacio pequeño, y un alto grado de exactitud dado que los disparos se concentran sobre el centro del círculo.

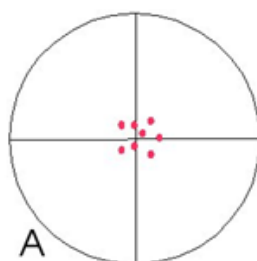


Figura 2.56: Alto grado de precisión y exactitud. Fuente:
http://formacion.intef.es/pluginfile.php/246707/mod_resource/content/1/exactitud_y_precisin.html

En la Figura 2.57, el grado de precisión es similar a la de la Figura 2.56, los disparos están igual de concentrados, la exactitud es menor, dado que los disparos se han desviado a la izquierda y arriba, separándose del centro del círculo.

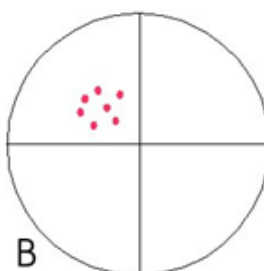


Figura 2.57: Precisión similar que A, pero menor exactitud. Fuente:
http://formacion.intef.es/pluginfile.php/246707/mod_resource/content/1/exactitud_y_precisin.html

En la Figura 2.58, la precisión es baja como se puede ver por la dispersión de los disparos por toda la diana, pero la exactitud es alta porque los disparos se reparten sobre el centro del círculo.

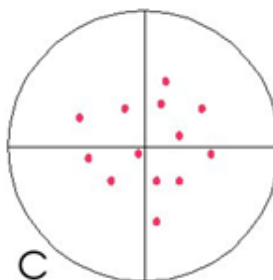


Figura 2.58: Precisión baja y exactitud alta. Fuente:
http://formacion.intef.es/pluginfile.php/246707/mod_resource/content/1/exactitud_y_precisin.html

En la Figura 2.59, la distribución de los disparos por una zona amplia denota *la*

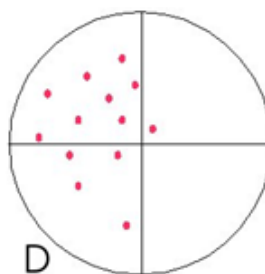


Figura 2.59: Precisión baja y exactitud baja. Fuente:
http://formacion.intef.es/pluginfile.php/246707/mod_resource/content/1/exactitud_y_precisin.html

falta de precisión, y la desviación a la izquierda del centro del círculo revela *la falta de exactitud*.

Como puede verse estas propiedades son independientes y la alta o baja precisión no implica ni alta ni baja exactitud, una operación, una información o una medición es de tanto mejor calidad cuando mayor es su precisión y exactitud.

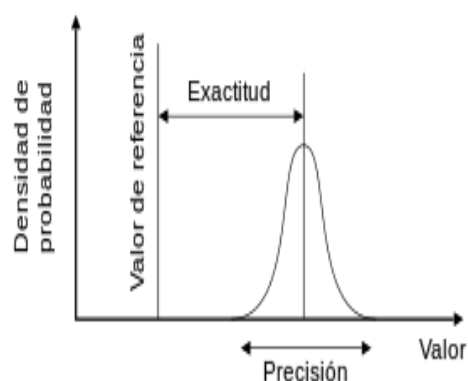


Figura 2.60: Gráfica probabilística de precisión y exactitud. Fuente:

http://formacion.intef.es/pluginfile.php/246707/mod_resource/content/1/exactitud_y_precisin.html

Tipo de levantamiento	Precisión lineal (1:K)	Precisión angular
Preliminar	1:1000	$1.5\sqrt{n}$
Común con buena precisión	1:3000	$1^*\sqrt{n}$
Precisión alta para trabajo en ciudad	1:5000	$30''*\sqrt{n}$
Máxima precisión	1:10000	$15''*\sqrt{n}$

Tabla 2.5: Precisión recomendada para levantamientos topográficos. Fuente: Topografía moderna con Estación Total y colector Tds Recon Survey Pro, Ing. Wilfredo Amaya Zelaya.

2.9 Incertidumbre, error y tolerancia.

Incertidumbre: parámetro que nos indica la dispersión de los valores atribuidos a una magnitud. Este parámetro es conocido.

Error: diferencia entre el valor medido de una magnitud y el valor considerado como valor real o de referencia. El error no es conocido.

Tolerancia: máximo error admisible en un trabajo.

2.10 Equipos topográficos.

Teodolito: es el aparato topográfico que reúne en un mismo montaje un sistema óptico-mecánico capaz de medir ángulos horizontales y verticales. Al estar contruidos para medir básicamente ángulos, éstos los miden con mucha precisión.

Si el retículo del anteojo dispone de hilos estadimétricos para medir distancias, se le denomina taquímetro o teodolito-taquímetro. A la vez estos pueden ser ópticos o electrónicos, en función básicamente de la forma en que miden y presentan los ángulos.



Figura 2.61: Teodolito analógico. Fuente: <https://topografia2.com/teodolito/>



Figura 2.62: Teodolito digital. Fuente: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/high-quality-td3-2-electronic-theodolite-surveying-instruments-60782788694.html>

Estación Total: Si a los Teodolitos y Taquímetros electrónicos se les incorpora un sistema para medir las distancias por algún sistema electromagnético, se empieza a hablar ya de Estación Total. Además, estas Estaciones suelen incorporar programas internos para almacenamiento de datos, replanteos, superficies, etc., y tienen sistemas para transferir de forma semiautomática los datos almacenados a un ordenador.



Figura 2.63: Estación total. Fuente: <https://civilparaelmundo.com/tag/estacion-total-usos-y-aplicaciones/>

Marcas de estación total.

Topcon: Las estaciones totales Topcon son una marca muy conocida que sin duda tiene modelos desde los más económicos hasta los más completos.

Sokkia: Una buena marca, tienen productos de buena calidad con un precio normal.

Leica: Cada estación total Leica es señal de buena calidad a buen precio, una buena opción para cualquier uso.

Nikon: Marca súper conocida en el sector de las cámaras, al igual que en ese sector lo hacen bien también en el de estos productos.

Trimble: Una marca conocida, con un buen precio y diseños muy competitivos, es conveniente revisar todos los modelos antes de realizar la compra.

Tipos de estación total.

Podemos diferenciar tres tipos de estaciones totales a la hora de dividir las entre sí, generalmente se diferencian en su tecnología:

Convencional: También conocida como estación electrónica tiene una pantalla electrónica, pero esto no quiere decir que lo haga todo sola ya que se necesitan los prismas reflectantes para usarla. Uno de sus puntos débiles es quizá que no resiste bien la lluvia por lo que las inclemencias del tiempo la hacen débil.

Con GPS: Sin duda el GPS nos ha cambiado a todos la vida; desde drones hasta cualquier otro invento que se basa en esta tecnología nos permite que los controlemos sin estar presentes. En el caso de la estación total no es diferente, podemos controlar nuestro instrumento sin estar presentes en el mismo sitio. ¿La contrapartida? La cobertura...no funcionan bien en sitios interiores y bosques con muchos árboles.

Robótica: Estas son quizá las más completas porque permiten medir a gran distancia y con una gran precisión a la vez que captan imágenes, sin duda hoy en día son las mejores. Otro punto importante es que no pesan nada y son súper resistentes.

2.11 Tipos de modelos digitales.

2.11.1 Modelos Digitales de Superficie.

El Modelo Digital de Superficie (MDS) representa las elevaciones sobre el nivel del mar de las superficies reflectantes de árboles, edificios y otras características elevadas sobre la “Tierra desnuda”. En un sistema LiDAR (Light Detection and Ranging), los pulsos de luz viajan al suelo. Cuando el pulso de luz rebota de su objetivo y regresa al sensor, da el rango (una distancia variable) a la Tierra. Por lo tanto, este sistema se ganó su nombre de LIDAR.

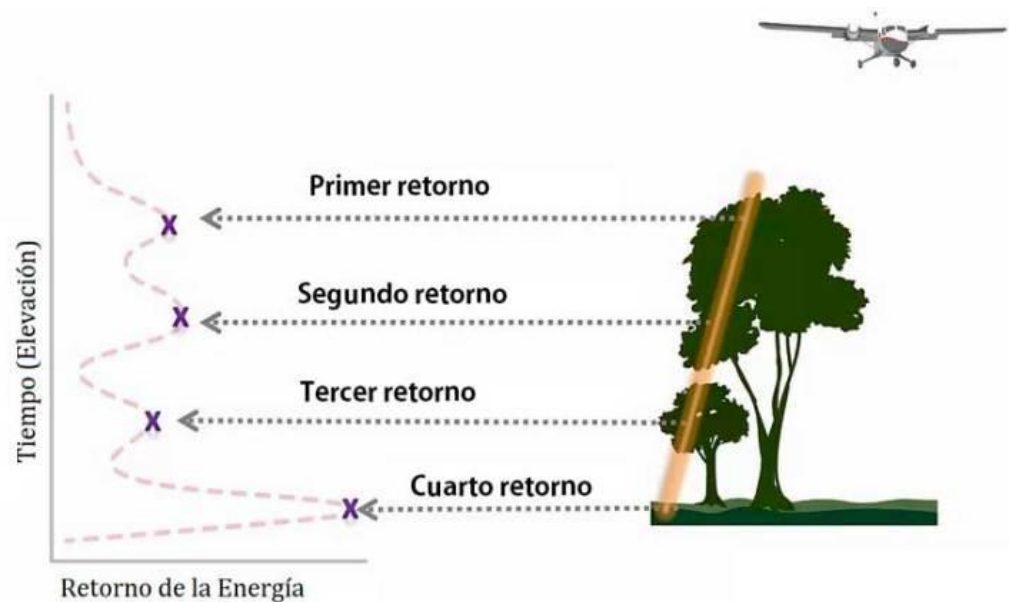


Figura 2.64: Detección y alcance de luz aérea (LIDAR). Fuente: <https://acolita.com/diferencias-dsm-dem-dtm/>

Al final, LiDAR entrega una enorme nube de puntos llena de diferentes valores de elevación. Pero la altura puede venir de la parte superior de los edificios, el

dosel arbóreo, las líneas eléctricas y otras características. Un MDS captura y muestra las características naturales y construidas en la superficie de la Tierra.

Un MDS es útil en modelado 3D para telecomunicaciones, planificación urbana y aviación. Debido a que los objetos se extruyen de la Tierra, esto es particularmente útil en estos ejemplos:

Zona de aproximación a pista de aterrizaje invadida: en la aviación, los DSM pueden determinar las obstrucciones de la pista en la zona de aproximación.

Manejo de la vegetación: a lo largo de una línea de transmisión, los DSM pueden ver dónde y cuánta vegetación está invadiendo.

Obstrucción de la vista: los planificadores urbanos usan el DSM para verificar cómo un edificio propuesto afectaría el punto de vista de los residentes y negocios.

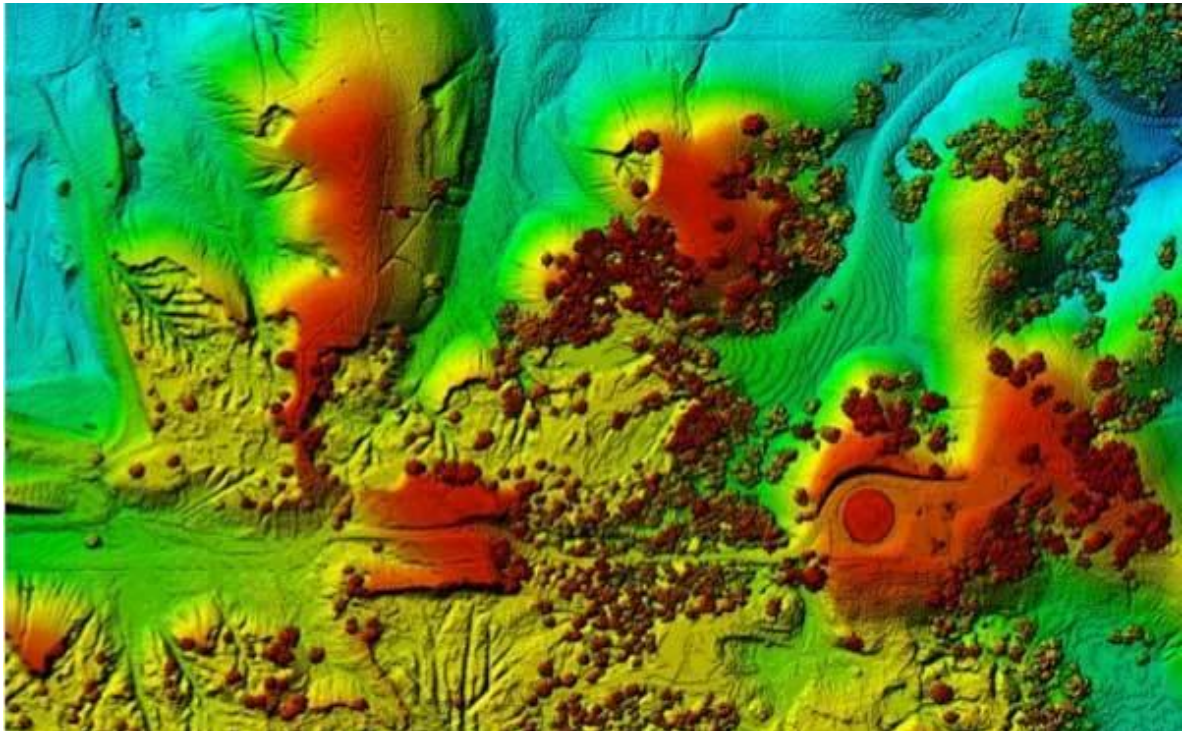


Figura 2.65: Modelo Digital de Superficie (con vegetación presente en el suelo). Fuente:

<https://acolita.com/diferencias-dsm-dem-dtm/>

2.11.2 modelos Digitales de Elevación (MDE).

Un modelo digital de elevación es una matriz de celdas de tierra desnuda referida a un dato vertical. Cuando se filtra puntos no terrestres como puentes y carreteras, se obtiene un modelo de elevación digital suave. Los edificios construidos (líneas eléctricas, edificios y torres) y naturales (árboles y otros tipos de vegetación) no están incluidos en un MDE.

Cuando se anula la vegetación y las características creadas por el hombre a partir de los datos de elevación, se genera un MDE. Un modelo de elevación de tierra

desnuda es particularmente útil en hidrología, suelos y planificación territorial, se tienen las siguientes aplicaciones:

Modelización hidrológica: los hidrólogos usan MDEs para delinear cuencas hidrográficas, calcular la acumulación de flujo y la dirección del flujo.

Estabilidad del terreno: las áreas propensas a las avalanchas son áreas de alta pendiente con escasa vegetación. Esto es útil cuando se planea una autopista o una subdivisión residencial.

Mapeo de suelos: los MDEs ayudan a mapear los suelos que son una función de elevación (así como geología, tiempo y clima).

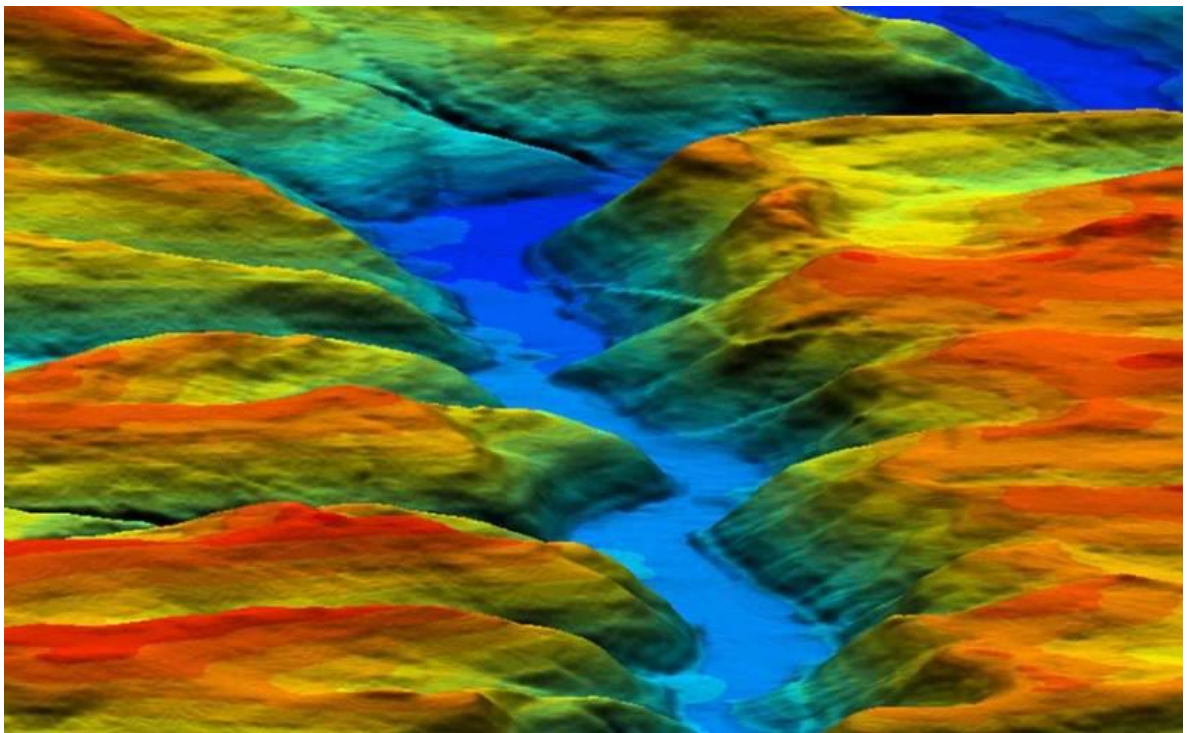


Figura 2.66: Modelo Digital de Elevación. Fuente: <https://acolita.com/diferencias-dsm-dem-dtm/>

2.11.3 Modelos Digitales de Terreno.

Un Modelo Digital del Terreno (MDT) puede describirse como una representación tridimensional de una superficie del terreno consistente en coordenadas X, Y, Z almacenadas en forma digital. Incluye no sólo alturas y elevaciones, sino también otros elementos geográficos y características naturales como ríos, líneas de crestas, etc. Un MDT es efectivamente un MDE que se ha incrementado con elementos tales como líneas de ruptura y observaciones que no son los datos originales para corregir los artefactos producidos utilizando sólo los datos originales.

Para efectos prácticos, un MDE “Tierra desnuda” es generalmente sinónimo de MDT.

En algunos países, un MDT es sinónimo de MDE. Esto significa que un MDT es simplemente una superficie de elevación que representa la tierra desnuda referenciada a un dato vertical común.

En los Estados Unidos y otros países, un MDT tiene un significado ligeramente diferente. Un MDT es un conjunto de datos vectoriales compuesto de puntos espaciados regularmente y características naturales como crestas y líneas de ruptura. Un MDT aumenta un MDE incluyendo características lineales del terreno de tierra desnuda.

En pocas palabras, un MDT crea un relieve de la tierra incluyendo la vegetación, edificaciones y objetos presentes. Un MDE solamente muestra el relieve del

suelo. Un MDT es un MDE que incorpora otros elementos geográficos como crestas, líneas de ruptura, ríos, etc.

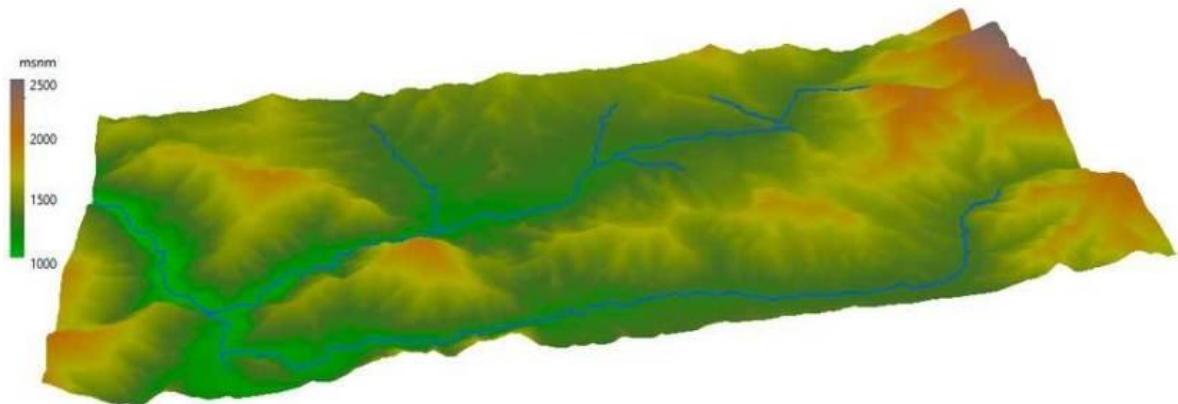


Figura 2.67: Modelo Digital de Terreno, Fuente: <https://acolita.com/diferencias-dsm-dem-dtm/>

2.12 Los Modelos Digitales de Terreno (MDT), definición.

Como se definió en el apartado anterior un Modelo Digital de Terreno (MDT) puede describirse como una representación tridimensional de una superficie del terreno consistente en coordenadas X, Y, Z almacenadas en forma digital.

Los MDT son una categoría de modelos simbólicos que ha nacido y se ha desarrollado al amparo de las nuevas tecnologías. Los modelos digitales del terreno se han definido (Doyle, 1978:1481) como un conjunto de datos numéricos que describe la distribución espacial de una característica del territorio.

2.13 El origen de los Modelos Digitales de Terreno.

El término Digital Terrain Model tiene aparentemente su origen en el Laboratorio de Fotogrametría del Instituto de Tecnología de Massachussetts en la década de los años 50. En el trabajo pionero de Miller y Laflamme (1958) se establecen ya

los primeros principios del uso de los modelos digitales para el tratamiento de problemas tecnológicos, científicos y militares. La definición del MDT que se menciona en sus trabajos es una representación estadística de la superficie continua del terreno, mediante un número elevado de puntos selectos con coordenadas x , y , z conocidas, en un sistema de coordenadas arbitrario. Puede observarse el uso del término MDT como sinónimo de MDE, así como el escaso énfasis en el aspecto de la georreferenciación (aunque unas líneas más adelante indica la conveniencia de establecer una relación entre el sistema de coordenadas y un sistema de proyección geográfica).

El objeto de su trabajo fue acelerar el diseño de carreteras mediante el tratamiento digital de datos del terreno adquiridos por fotogrametría, planteándose una serie de algoritmos para la obtención de pendientes, áreas, etc. El problema del número de datos se planteó de forma crítica, dada la escasa capacidad de almacenamiento de los ordenadores en aquella época, y se propuso el uso de ecuaciones polinómicas para almacenar segmentos de los perfiles topográficos. Esta técnica no ha sido abandonada en la actualidad, aunque se han propuesto versiones algo más sofisticadas (Walton, 1989).

Los programas de uso más general para el tratamiento de los MDT tuvieron que esperar algunos años más y, habitualmente, surgieron en un contexto SIG que incorporaba la información topográfica para el manejo de cartografía digital en términos más generales. Probablemente el trabajo de mayor importancia fue desarrollado por el Harvard Laboratory for Computer Graphics and Spatial

Analysis que, en 1967, presentó el SYMAP; este conjunto de programas de manejo de cartografía digital incorporaba, entre otros, algoritmos de interpolación que permitían la generación de mapas de isolíneas a partir de puntos de altitud distribuidos irregularmente. SYMAP constituyó una de las primeras demostraciones de la posibilidad de manejo de la información espacial por medios informáticos.

2.14 Modelos Digitales y Modelos Analógicos.

Los modelos digitales de terreno tienen una versión analógica en mapas que pueden representar las mismas características del terreno, pero codificándolas sobre un soporte físico mediante convenciones gráficas; los mapas que representan las mismas variables que los MDT constituyen, por tanto, modelos analógicos del terreno (MAT). En el estado actual de la cuestión, ambos tipos de modelos se complementan en muchos aspectos y la total sustitución de unos por los otros no parece previsible. Las ventajas que ofrece la codificación numérica son claras en algunos aspectos, pero los mapas impresos son imprescindibles actualmente para el manejo práctico de la información.

PROPIEDAD	MAT	MDT
MANEJO	SENCILLO	COMPLEJO
ESTABILIDAD	BAJA	ALTA
TRANSPORTABILIDAD	ALTA	BAJA
ACTUALIZACIÓN	COMPLEJA	SENCILLA
TRATAMIENTO NUMÉRICO	DIFÍCIL	FÁCIL
SIMULACIÓN	NO	SI

Tabla 2.6: Comparación de algunas propiedades diferenciales entre los modelos analógicos del terreno

(MAT) y los modelos digitales (MDT). Fuente:

https://www.academia.edu/2807451/Modelos_digitales_del_terreno

2.15 Estructura de datos de los MDT.

Los Modelos Digitales del Terreno (MDT) y su altitud resultante (cota z), depende exclusivamente de las variables planimétricas (x e y), sea cual fuere su proyección cartográfica o sistema de referencia. Es decir, el marco resultante de un MDT será un conjunto de coordenadas en tres dimensiones (x, y, z) de un determinado sector.

Con los datos resultantes, el objetivo es estructurarlos de cierta manera que permita su utilización o manipulación en función de la aplicación que vaya a inducirse. Por ello, existen diferentes tipos de estructuras de almacenamiento y representación de la información resultante de un MDT, cuyas características fundamentales se detallan a continuación:

Estructuras Vectoriales (curvas de nivel): Conocidas también como isohipsas, es un conjunto organizado de pares de coordenadas que siguen una

concatenación topológica ordenada generando así una geometría vectorial básica del tipo línea, en la trayectoria que la curva nivel atraviesa se representa una única cota continua. Es así, que todos los vértices y nodos que conforman la curva de nivel poseerán un atributo numérico o cota constante para todos los elementos que la integran. Dentro de estas estructuras vectoriales figuran también los puntos acotados, o coordenadas que representan los diferentes puntos de inflexión existente en el relieve de la superficie terrestre, son datos indispensables para la generación de MDT.

Estructuras Vectoriales (Breaklines – líneas de quiebre): Poseen geometría vectorial del tipo línea, sin embargo, las coordenadas puntuales que la definen contienen valores de altitud diferentes, pues representan el contorno lineal específico en el cual la pendiente del terreno adyacente sufre una variación o alteración súbita, como, por ejemplo: líneas de cumbre, líneas de depresión hidrográfica, bordes de acantilados, etc. La definición de Breaklines corresponden a casos puntuales sobre la superficie terrestre.

Estructuras Vectoriales (Perfiles): Es una representación parcial del relieve en las cuales se muestran las variaciones topográficas en un corte o sección específica del terreno. Es la abstracción en dos dimensiones de una porción topográfica de tres dimensiones.

Estructuras TIN (Triangulated Irregular Network – Red de Triángulos Irregulares): Constituyen elementos vectoriales en tres dimensiones cuyo

elemento exclusivo es un conjunto de triángulos que forman diferentes planos. Estos se forman a partir de puntos cercanos no colineales. El terreno adopta la forma del conjunto de triángulos adyacentes formados a partir del conjunto de puntos disponibles. Los triángulos que se generan deben aproximarse en la medida de lo posible a triángulos equiláteros.

Estructuras Raster (Matrices o grillas regulares): Es el tipo de representación de los Modelos Digitales del Terreno más común. El terreno está representado por una matriz o cuadrículas rectangulares georeferenciada cuyas celdas o elementos básicos son equidistantes y en cada cual se almacena el valor correspondiente a la altitud media representativa para cada celda.

Estructuras Raster (Matrices irregulares): El criterio de almacenamiento de la información es idéntico al de las matrices regulares, la diferencia radica en la resolución para cada elemento, en este caso se dividen en niveles, los cuales se agrupan en función de su número digital común. Es una estructura similar a los quadrees.

Estructuras Analíticas: Inicialmente se propuso dentro del análisis de los Modelos Digitales del terreno, el planteamiento de superficies a través de ecuaciones matemáticas polinómicas o segmentos de Bézier con el objetivo de optimizar la capacidad de almacenamiento de la información altimétrica.

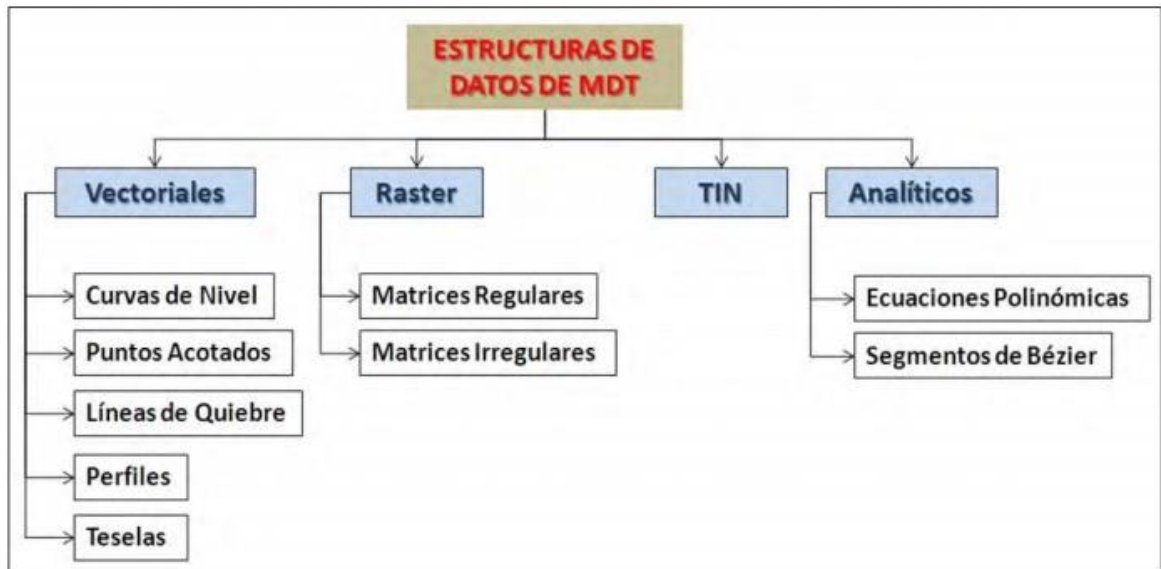


Figura 2.68: Estructuras de Datos de los Modelos Digitales del Terreno. Fuente:

<https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/3569/1/112296.pdf>

2.16 Captura de insumos para la generación de los MDT.

Es el proceso de abstracción de la realidad hacia un proceso de almacenamiento digital de la síntesis espacial, en el cual se obtiene la información primaria que conformará el Modelo Digital del Terreno resultante. Dentro de un proyecto de Implementación de una Base de Datos Geográfica, el proceso de captura de la información es el más costoso y por ende el más crítico dado la estrecha relación de esta fase con la calidad de la información resultante, por ello es importante la planificación detallada y presupuestada para lograr con suceso este fin.

Los diferentes métodos de captura de información se dividen en dos grandes grupos: los métodos directos y los métodos indirectos, para lo cual, es importante definir cada uno de sus contextos.

Se entienden como métodos directos aquellos en los cuales se obtiene información altimétrica directamente sobre el terreno sin la utilización como insumo de información espacial generada previamente. En contraparte, los métodos indirectos generan información altimétrica a través del procesamiento de información espacial generada inicialmente:

Métodos directos – Altimetría.

El registro de la presión barométrica y su procesamiento da como resultado la obtención de datos de elevación a partir del uso de altímetros de gran precisión. Sin embargo, actualmente su uso se ha restringido para el estudio de glaciares y lechos marinos debido al alto grado de dispersión que genera la atmósfera en los resultados obtenidos. Una ventaja significativa es que constituye un método de percepción remota de información altimétrica.



Figura 2.69: Métodos de captura de información altimétrica. Fuente:

<https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/3569/1/112296.pdf>

Métodos directos – GPS.

Los sistemas satelitales que gracias a cálculos de triangulaciones iterativas obtienen coordenadas en tres dimensiones de un determinado punto sobre la superficie terrestre, es otro método directo de adquisición de datos altimétricos, actualmente se disponen de modelos geoidales que complementan este tipo de observaciones y que mejoran el nivel de confiabilidad de los datos recibidos. Sin embargo, existen varias limitantes que surgen al momento de utilizar el método GPS como método de captura masiva de datos altimétricos, el primero es nivel de accesibilidad variable en distintas zonas de interés, segundo es la calidad de la señal a receptarse en diversas superficies dada por la existencia de cobertura vegetal densa, topografía abrupta, actividad antrópica intensa, tercero es la disponibilidad de estaciones de referencia relativamente cerca de las zonas de interés, etc. Todas estas limitantes inciden en la calidad de la información registrada; en este sentido, la obtención de datos altimétricos se convierte en un método de soporte más que en un método recursivo para la recopilación de altitudes.

Métodos directos – Topografía.

Los métodos topográficos, tanto mediante el empleo de estaciones totales o niveles digitales, constituyen otro método directo de recopilación de información altimétrica. Son métodos de registro visual que con el apoyo de distanciómetros láser facilitan el almacenamiento y cálculo de la información resultante. Sin

embargo, presentan similares limitantes a las existentes en el método de GPS: dificultad en la accesibilidad y visibilidad, que encarecen el uso de esta alternativa como método masivo de captura de altitudes. Es decir, también constituye un método de apoyo o sectorizado de determinación de elevaciones.

Métodos directos – Sistema Láser.

Es una tecnología relativamente nueva que ha revolucionado la captura masiva de información tridimensional. Está compuesta exclusivamente por sensores activos que emiten pulsos láser los cuales se reflejan sobre la superficie expuesta, generando posteriormente una nube de puntos ampliamente densa y con varios atributos asociados. Existen sistemas láser del tipo terrestre como aerotransportados, su objetivo es escanear los sectores de interés para obtener modelos digitales de superficies con diversas aplicaciones. El sistema LIDAR aerotransportado, es un sistema de percepción remota láser utilizado principalmente para fotogrametría y cartografía, permite obtener registros tridimensionales del terreno con densidades significativas, las cuales dependen exclusivamente de las variables inmersas en los planes de vuelo ejecutados. La ventaja es que este método es considerado como un método de captura masiva a gran escala.

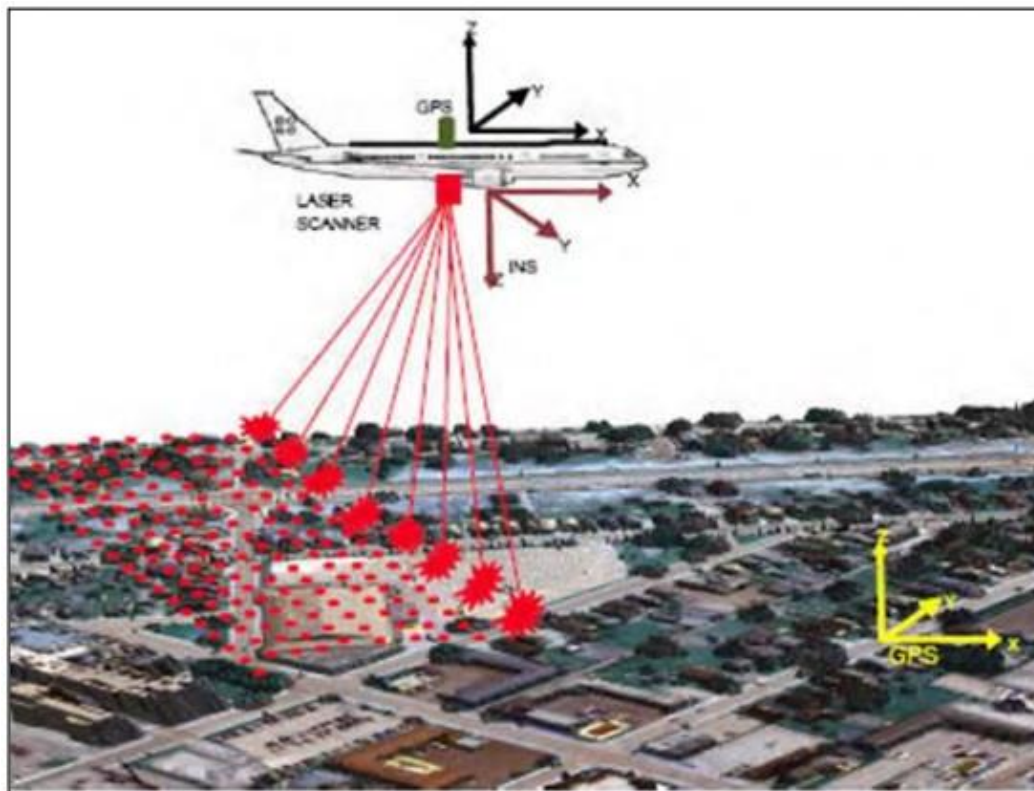


Figura 2.70: Escaneo de la superficie terrestre con tecnología Lidar, Fuente:

<https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/3569/1/112296.pdf>

Métodos indirectos – Restitución fotogramétrica.

Los métodos indirectos son los utilizados en mayor proporción para la generación de MDTs, Como se mencionó, la restitución al ser un método indirecto, requiere información espacial de partida, en este caso se requiere de fotografía aérea y una serie de puntos de apoyo ubicados en campo de tal forma que se pueda espacializar los modelos estereoscópicos resultantes. Gracias a la estereoscopía en los pares de fotografía aérea es posible dimensionar la paralaje existente entre puntos homólogos y con ello se deducen los desniveles asociados a los

diferentes pares de puntos medidos. La información resultante es procesada mediante un proceso iterativo de correlaciones, para identificar los demás puntos homólogos (Claus, 1984), medir paralajes y estimar altitudes (Allam, 1978). Tradicionalmente, la restitución se la empleaba sobre fotografías aéreas en formato análogo, actualmente la mayoría de restituidores utiliza información en formato digital. De la misma manera, no solo la fotografía aérea ha sido fuente de datos para efectuar restitución, sino también imágenes satelitales provenientes de diversos sensores pasivos con capacidades estereoscópicas como Quick Bird, Ikonos, Worldview 1, Worldview 2, GeoEye 1, GeoEye 2, etc.; estos productos son exclusivamente digitales.

Métodos indirectos – Autocorrelación de imágenes.

Este método es similar al de restitución con el aditivo que es un proceso automático de procesamiento de imágenes digitales, también es posible el procesamiento de imágenes analógicas previo escaneo de las mismas. Para su desarrollo emplea algoritmos iterativos de matching con lo cual se obtienen precisiones resultantes de hasta $1/3$ de píxel en la determinación de puntos homólogos en tres dimensiones. Sin embargo, requiere edición y depuración manual de un pequeño porcentaje de puntos correlacionados. De todas formas, es un método adecuado para la extracción masiva de puntos altimétricos.

Métodos indirectos – Digitalización.

La digitalización comprende la vectorización de elementos altimétricos presentes en documentos cartográficos publicados anteriormente. Se la puede realizar a partir de documentos analógicos o digitales previamente escaneados. Tradicionalmente la digitalización se la realizaba sobre tableros que soportaban los mapas o cartas en papel. Actualmente, es posible efectuar la digitalización en pantalla, inclusive con la ayuda de algoritmos automáticos y semi automáticos para la vectorización de elementos cartográficos.

Métodos indirectos –Radar.

Otro método utilizado para la adquisición de información altimétrica es la interferometría o radargrametría, técnicas aplicadas sobre imágenes radar. Estas técnicas son muy complejas y dependiendo del fabricante del sensor existirá un software apropiado dado que sus algoritmos son encriptados, los cuales poseen módulos, procedimientos y características de aplicación propias. Generalmente, se recurre al uso de imágenes radar cuando se evidencia ausencia de información proveniente de sensores pasivos como imágenes satelitales o fotografía aérea digital.

2.17 Aplicación de los MDT.

Los modelos digitales del terreno representan la variable altimétrica de un determinado sector, esta información puede ser tratada adecuadamente para generar información derivada obteniendo nuevas variables complementarias

resultado del tratamiento local y sus respectivas relaciones topológicas de los valores de altimetría disponibles en el MDT.

Con la disposición de nuevas variables, es posible efectuar una serie de análisis espaciales complejos y detallados para lograr varios propósitos y fines que ayudarán significativamente para la toma de decisiones.

A continuación, se detallan varias variables derivadas de los MDTs y su nivel de aplicación:

Pendientes: Es la tangente resultante entre el vector normal a un punto y su plano horizontal asociado. Permite cuantificar el relieve del terreno y el grado de variación de alturas en sus inmediaciones.

Orientación: Se define como el ángulo resultante entre el norte y la dirección del plano adyacente asociado a un punto determinado. Su criterio de calificación es similar al de la pendiente. Permite conocer la dirección a la que tiende el relieve de análisis.

Curvatura: Se traduce como la variación del cambio de pendiente, con el fin de determinar cimas o valles presentes en el relieve, es decir la convexidad y la concavidad existente.

Cuencas Hidrográficas: A través de un análisis morfométrico del MDT, se pueden calcular las cotas mínimas con las cuales se asocian las líneas de flujo de una red hidrográfica.

Cuencas Visuales: Se determinan áreas visibles desde puntos de observación variados sobre el terreno, estos modelos se utilizan para la determinación de fenómenos con relativo impacto visual.

Modelo de sombras o reflectancia: Simula la apariencia del terreno resultado de proyectar luz a través de una fuente situada en una ubicación específica. Permite apreciar a gran escala el relieve continuo del terreno y detectar con facilidad incompatibilidades resultantes de algún tratamiento erróneo previo.

Análisis de radiación solar: Con el tratamiento de variables como curvatura, orientación, pendiente y el modelo de sombras se puede determinar el impacto de la radiación solar a varias magnitudes, con el fin de determinar escenarios de impactos y afectación para los seres vivos.

En conclusión, una amplia gama de información muy útil se deriva del tratamiento de los modelos digitales del terreno, los cuales se constituyen tal vez en la variable espacial con mayor trascendencia dentro de las ciencias geográficas.

El campo de uso de los MDT es variado, se detallan a continuación los más emblemáticos:

- ✓ Extracción de los parámetros del terreno.
- ✓ Trazados de perfiles topográficos.
- ✓ Creación de mapas en relieve.
- ✓ Tratamiento de visualizaciones en 3D.
- ✓ Planificación de vuelos en 3D.

- ✓ Creación de modelos físicos (incluyendo creación de mapas de relieve).
- ✓ Rectificación geométrica de fotografías aéreas o de imágenes satélites.
- ✓ Los análisis del terreno en geomorfología y geografía física.
- ✓ Apoyo en análisis estadísticos (precipitación, insolación-temperatura, flujos hídricos, erosión, distribución de hábitats, etc.).
- ✓ Modelos climáticos (sombras, incidencias del sol, umbrías).
- ✓ Modelos hidrológicos (líneas de flujo, áreas subsidiarias, caudales).
- ✓ Análisis visual.

CAPITULO III: OBTENCIÓN DE DATOS DE CAMPO

3.1 Descripción del lugar en estudio.



Figura 3.1: Ubicación del área de trabajo. Fuente: (E.Rosa 2021).

La ubicación de las zonas de estudio es a lo largo de la Calle Circunvalación Universitaria Mejicanos, San Salvador, comúnmente conocido como “Arenal de Mejicanos” o la “Bóveda”.

Consiste en una porción de terreno en el extremo oriente de lo que es la totalidad de la actual bóveda en quebrada Arenal de Mejicanos, que atraviesa el campus de la Universidad de El Salvador en la parte Norte.

El terreno es de naturaleza rustica y ha sido modificado artificialmente con la creación de esta bóveda, la cual posee una longitud aproximada de 450 m, un área hidráulica de 18.28 m² aguas arriba, 34.65m² aguas abajo y conecta con la bóveda de la 29 Avenida Norte y la Circunvalación universitaria; se tiene un relleno compactado sobre dicha bóveda hasta de 6 metros de altura los cuales conforman la superficie actual de la zona teniendo la formación de taludes y ondulaciones entre terreno natural y relleno.

Geología de la zona.

Geológicamente el área de San Salvador y sus alrededores inmediatos está conformada por tres tipos diferentes de formaciones rocosas, todas ellas de origen volcánico: Formación Bálsamo, Formación Cuscatlán y Formación San Salvador. Las antiguas datan del terciario superior (Plioceno), y las más jóvenes del Holoceno (Era Cuaternaria). Donde la formación Bálsamo del Terciario es la más antigua y es la formación subyacente a la formación Cuscatlán. La formación San Salvador, está representada por las letras del Volcán San Salvador, calderas de Ilopango y Coatepeque y el cráter de Plan de la Laguna (PL).

Para conocer los diferentes materiales que conforman cada una de las formaciones mencionadas anteriormente, ver la Figura No 3.1, donde se presenta el mapa geológico del AMSS

Plio-Pleistoceno		Holoceno	
Formación Cuscatlán	c3	Efusivas básicas-intermedias,	Formación San Salvador
	c2	Efusivas ácidas y intermedias ácidas	
Formación Balsamo	c1	Piroclastitas ácidas, epiclastitas volcánicas	s5a
	b3	Efusivas básicas-intermedias	s5b
	b2	Efusivas básicas-intermedias, piroclastitas, epiclastitas volcánicas subordinadas (estratos no diferenciados y edificios volcánicos)	s5c
Holoceno	b1	Epiclastitas volcánicas y piroclastitas; localmente efusivas básicas e intermedias intercaladas.	s4
	Qf	Cuerpos de agua	s3a
		Depósitos sedimentarios del Cuaternario	s3b
		Conos de deyección del Cuaternario	s3c
			s2
			s1

Tabla 3.2: Materiales según formación geológica. Fuente:

<https://www.transparencia.gob.sv/institutions/marn/documents/378054/download>

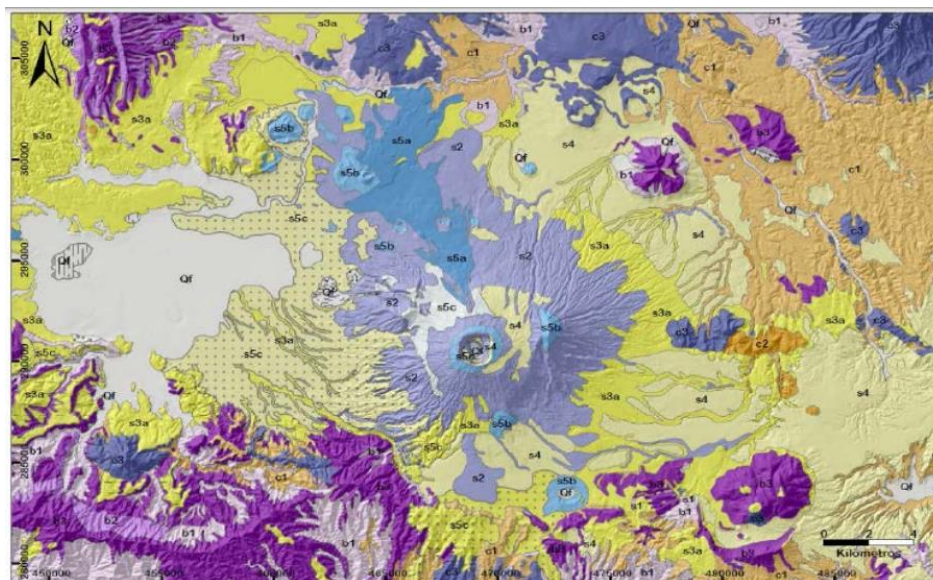


Figura 3.3: Materiales según formación geológica. Fuente: Ferrés, Dolores. (2014). Tesis: "ESTRATIGRAFÍA, GEOLOGÍA Y EVALUACIÓN DE PELIGROS VOLCÁNICOS DEL COMPLEJO VOLCÁNICO DE SAN SALVADOR". Universidad Nacional Autónoma de México, México.

La zona de estudio específicamente comprende materiales de composición ácida provenientes de cuatro erupciones explosivas Plinianas, cuyos productos son la TB4, TB3, TB2 y TBJ. Dichos productos se describen a continuación:

Cenizas Volcánicas: conocidas locamente como “Tierra Blanca”, que son productos piroclásticos con características friccionantes en los que predomina la pómez, sus granos tienen dimensiones similares y su textura es rugosa, la distribución granulométrica varía, pero básicamente se puede clasificar como limo arenoso (ML) o arena limosa (SM) de muy baja plasticidad.

Los espesores varían de unos pocos metros al pie del volcán de San Salvador, hasta alcanzar grandes espesores en los alrededores del Lago de Ilopango. Estos productos piroclásticos pueden dividirse en TB4, TB3, TB2 y TBJ

TB4: Tiene una composición riolítica; su espesor cerca de la caldera alcanza los 7 m y decrece gradualmente hacia el oeste a aproximadamente 3 m en Santa Tecla (Hernández et al, 2010). La unidad consiste de depósitos moderados de pómez gruesa con capas delgadas de cenizas finas en la parte de arriba y debajo de dichos depósitos.

TB3: Representa los productos de una erupción freatomagmática relativamente pequeña. Se compone de depósitos de cenizas finas con cantidades variables de lapilli acrecional y flujos piroclásticos finos a gruesos.

TB2: Se compone de depósitos de pómez de composición dacítica de color beige a blanca (Lexa et al, 2011), mal graduada, con abundantes minerales oscuros

representados por hornblenda. El techo presenta un paleosuelo de delgado espesor, de color café oscuro.

Tierra Blanca Joven (TBJ): se compone de siete subunidades con características físicas variables relacionadas a los diferentes mecanismos eruptivos (Hernández, 2004). Estas se presentan en la Figura 3.3.

Representó la última erupción ultraplinaiana cuyos depósitos piroclásticos TBJ (Hernández, 2004), consisten principalmente de fragmentos de vidrio volcánico que forman cenizas de arena fina y tamaño limo (grandes cantidades), fragmentos de pómez y líticos (tamaño grava, arena y grava); polvo volcánico y cristales en pequeña cantidad (tamaño arena y limo), cuyas cenizas de caída cubrieron completamente todo el territorio actual de El Salvador y se extendieron por una centena de kilómetros.

Los flujos piroclásticos de este evento también cubren extensas áreas de los departamentos de San Salvador, La Libertad, La Paz y Cuscatlán.

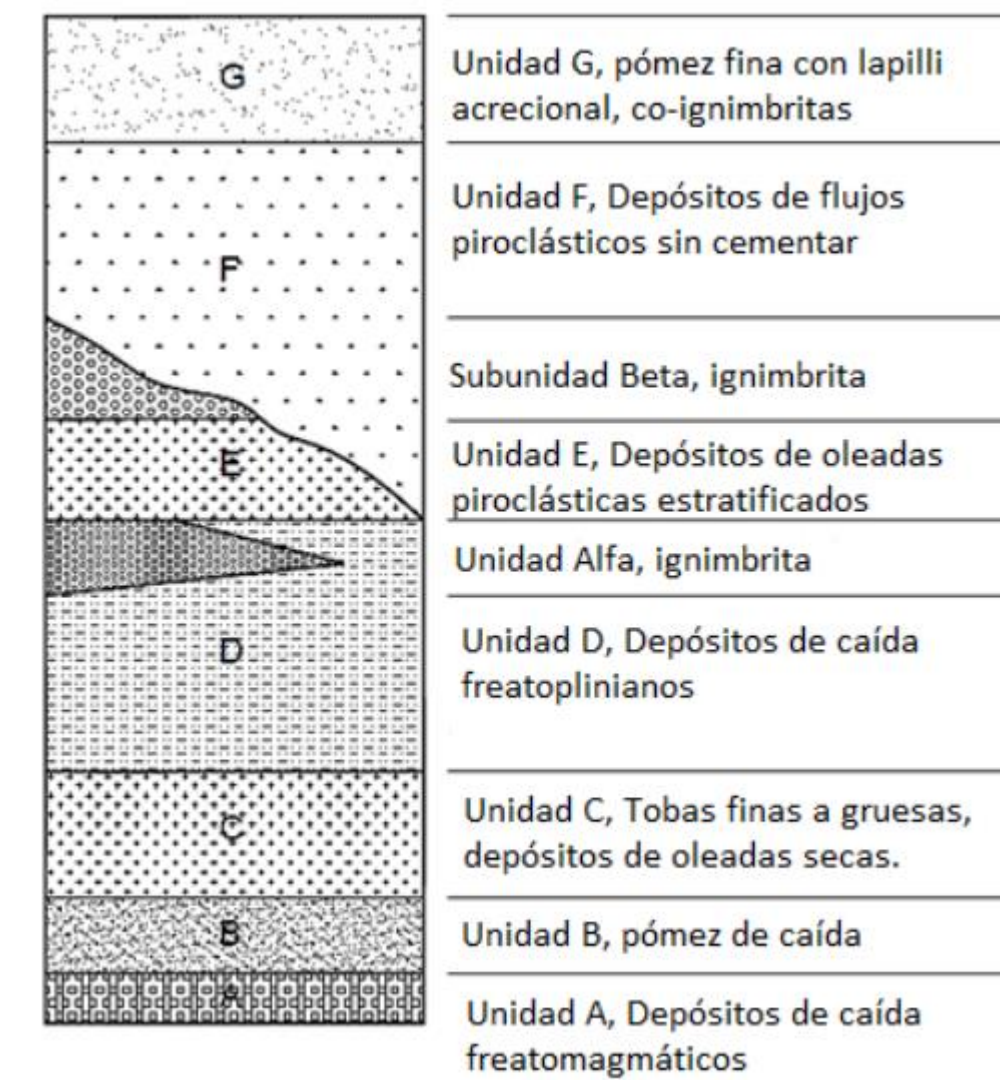


Figura 3.4: Estratigrafía de TBJ. Fuente: Lexa et al. (2011). GEOLOGY AND VOLCANIC EVOLUTION IN THE SOUTHERN PART OF THE SAN SALVADOR METROPOLITAN AREA. Editor P. Hradecký

Descripción del entorno ecológico, contaminación y posibles riesgos naturales o físicos y demás condiciones ambientales del terreno:

Se encuentra en zonificación Noroccidental de acuerdo al Decreto Ejecutivo N°60 "Directrices ZAUS Noroccidental; sustentado en el art. 50 de la Ley de Medio

Ambiente literal a), donde “se autoriza al Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales a establecer las directrices de la zonificación ambiental y los usos del suelo”; catalogado como:

Zona de Protección y restauración:

Terrenos riberaños de ríos, quebradas, lagos y lagunas en los que se tienen recorridos de lahares.

Lineamiento: Proteger la red de drenaje natural y sus terrenos riberaños para recuperar servicios ambientales de regulación de la amenaza y evitar el incremento del nivel de riesgo existente por recorridos de flujos de escombros y lahares.

Bajo los siguientes lineamientos se tiene:

Permitido:

- Obras de Protección y mitigación del riesgo
- Reforestación

Permitido con restricciones:

- Ecoturismo
- Infraestructura de transporte
- Infraestructura de generación y distribución de energía
- Infraestructura para captación y almacenamiento del recurso hídrico
- Infraestructura de distribución del recurso hídrico

- Infraestructura para el saneamiento de las aguas residuales
- Infraestructura de telecomunicaciones

No permitido:

- Acuicultura
- Agricultura permanente
- Agricultura anuales y semipermanentes
- Agroforestería
- Agropecuario
- Agroindustria
- Aprovechamiento pecuario
- Aprovechamiento forestal
- Industria
- Rellenos sanitarios
- Proyectos urbanísticos y/o construcciones
- Proyectos de equipamiento.

3.2 Metodología para la recolección de datos de campo con estación total.

Como se propuso en la etapa 2 de esta investigación se han realizado prácticas y pruebas de campo, éstas con el fin de adquirir conocimientos y destrezas en el manejo de la estación total. Durante estas prácticas se desarrollaron conocimientos de configuraciones básicas del equipo y su uso acompañado de

un Colector Externo, los cuales facilitan y agilizan los trabajos de manera muy eficaz.

Una vez adquiridos los conocimientos necesarios se procede a la monumentación de los puntos a medir, esta actividad se basó en colocar trompos de madera con una numeración lógica, se colocaron en lugares estratégicos y se pintaron de color naranja para que fueran encontrados con facilidad.

Los puntos de control establecidos (coordenadas de amarre) fueron FIA1 y PL12, por inmediatez y visibilidad entre ellos, de ellos se obtuvo la dirección base, se prosiguió al desarrollo del levantamiento de la poligonal de amarre, perímetro del terreno y por último el levantamiento de puntos de niveles para la generación del Modelo Digital de Terreno.

Para la identificación del Polígono Base se definieron 9 puntos con los cuales se busca garantizar la visibilidad de todas las zonas por medio del método de Radiación; para poder así, cubrir todo el terreno a levantar, dichos puntos se numeraron del uno al nueve por medio de trompos de madera y a los cuales se les clavo una pequeña tachuela metálica que definiría el centro del punto.

Para la delimitación del área de terreno a levantar se hizo por medio de 38 puntos, los cuales se ubicaron a lo largo del lindero establecido, señalándolos por medio de trompos de madera y a los cuales se les clavo una pequeña tachuela metálica que definiría el centro del punto, dichas marcas se numeraron del 50 en adelante.

Por último, para obtener los niveles en el terreno se establecieron todos los puntos necesarios para reflejar los cambios de pendiente en el mismo; colocando trompos o marcas al pie del talud, en un punto medio de su pendiente y en su corona; estos distanciados entre 2 a 3 m para zona en taludes pronunciados y cambios repentinos de pendiente, y entre 5 a 8 m en zonas con pendiente leve. La numeración decidida para el establecimiento de estos puntos de nivel fue del 100 en adelante.

3.3 Levantamiento topográfico con Estación Total.

Equipo utilizado:

1. Una Estación total marca: Sokkia Set 6 50RX.
2. Dos trípodes.
3. Dos prismas.
4. Un colector de datos marca Recon con software survey pro.
5. Una cinta métrica de 8.00 m.
6. Baterías AA.
7. Cable de comunicación Colector-Estación Total.

3.3.1 Guía básica del uso de la Estación Total y su configuración.

La calidad de los resultados depende de varios factores y uno de ellos es el uso correcto de los equipos con sus respectivas configuraciones para la aplicación deseada. En el caso de la estación total acompañada de un colector de datos externo hay configuraciones que si bien son muy importantes la mayoría de

operadores o topógrafos desconocen, tal es el caso de la velocidad de transmisión de señales entre la Estación Total y el Colector de Datos, otra muy importantes y desconocida la constante de prisma que es valor que afecta grandemente la medición de distancias.

A continuación, se presenta la guía de configuración tanto de Constante de Prisma con la velocidad de transmisión de datos entre equipos.

La constante de prisma (PC).

La constante del prisma, conocida también como Offset, es el desfase que tiene el prisma (punto donde rebota el infrarrojo) respecto al eje del bastón, que conduciría con el punto que se desea medir (punta del bastón). Lo que hace la ET es sumarle o restarle ese offset a la distancia para obtener la medida real que coincidiría con la punta del bastón.

El haz rebota dentro del prisma, en el punto cónico del conjunto de cristales que constituyen el prisma y es de donde habría que medir respecto al eje del bastón para conocer su offset. Este dato es sumamente importante de tenerlo siempre bien introducido en la ET ya que un valor equivocado de constante de prisma se traduce en mediciones incorrectas.

En muchos casos, a un lado o por detrás de los prismas, aparece el valor numérico de la constante. Si por ejemplo tiene un offset de +2mm (prisma de 360^a de Trimble para la 5600) quiere decir que sobre la distancia medida habría que sumarle 2 mm.

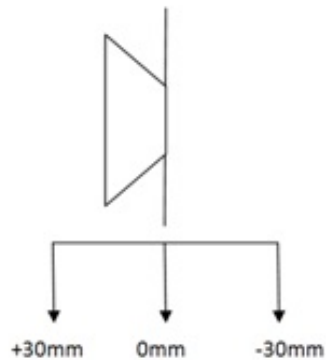


Figura 3.5: Esquema representativo de la constante de prisma. Fuente: (Ramírez 2021).

Configuración de la constante de prisma en Estación Total Sokkia Set 6 50RX.

1. Se deben poner 2 puntos en una superficie plana y con acabado no muy rugoso a una distancia conocida medida con cinta métrica, en nuestro caso 6.595 m
2. Debemos centrar y nivelar el equipo en uno de los puntos antes marcados, colocamos el prisma en el otro punto, este deberá estar centrado y nivelado sobre un trípode o bípode y realizamos el disparo, anotamos la distancia horizontal, hacemos un total de 3 disparos como mínimo.



Figura 3.6: Calibración de constante de prisma en Estación Total. Fuente: (Ramírez 2021).

3. Sacamos un promedio de las distancias obtenidas en los 3 disparos y la comparamos con la distancia del paso 1.
4. Resultó como promedio 6.593 m, por lo que procedimos a cambiar la PC de La Estación que viene normalmente con -30 mm de Offset (constante original del prisma utilizado), colocamos -27 mm.



Figura 3.7: Calibración de constante de prisma. Fuente: (Ramírez 2021).

5. Luego al realizar 3 disparos consecutivos al prisma se obtuvo un promedio de 6.595 m lo cual era justo lo que se buscaba.
6. Se recomienda probar a diferentes distancias La Constante de Prisma PC ya que podría variar según la distancia.

Velocidad de transferencia de señales (conexión Estación Total y Colector Externo).

Básicamente se refiere a la velocidad con la que el Colector Externo y La Estación Total intercambian los datos, la unidad de medida es el Baudio, entre mayor es el número de Baudios más rápida será la transferencia de información.

Se recomienda usar una velocidad inferior a la máxima de uno de los aparatos, por ejemplo, si El Colector de datos su máxima velocidad es de 19200 Baudios se debe usar 9600 Baudios. Para lograr una conexión estable entre ambos equipos la velocidad deberá ser la misma en ambos aparatos.

Configuración de velocidad de transmisión en Estación Total Sokkia SET-6 50 RX y Colector de Datos Externo Recon con Survey Pro.

1. Revisamos la cantidad de Baudios que tiene por defecto la Estación Total.
2. Colocamos un numero intermedio por ejemplo 9600 Baudios.
3. En el colector de datos colocaremos la misma cantidad en el apartado de configuración de equipo, que se refiere a configurar el equipo con el que interactúa el Colector, o sea, la Estación Total.

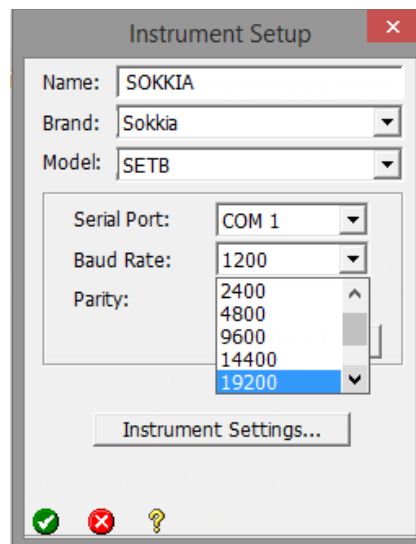


Figura 3.8: Configuración de Baudios en estación total y colector. Fuente: (Ramírez 2021).

4. Debemos asegurarnos que la tasa de transferencia sea la misma en ambos equipos.
5. Entre mayor es la cantidad de Baudios más rápida es la transferencia de información.

3.3.2 GUÍA BÁSICA DEL USO DEL COLECTOR DE DATOS Y CONFIGURACIÓN

Se usarán dos técnicas de medición en conjunto (Radiación y Poligonación) para darles coordenadas y elevación a los puntos en el terreno utilizando el software llamado “SURVEY PRO” dentro del Colector Recon, se muestran a continuación los pasos seguidos.

Paso 1: Conectar correctamente el colector con el cable a la Estación Total, accedemos al software (Survey pro), dar click en “File” e ingresar a “Open/New”, luego damos click en “New” para crear un nuevo trabajo, ver Figura 3.9 y 3.10 respectivamente.

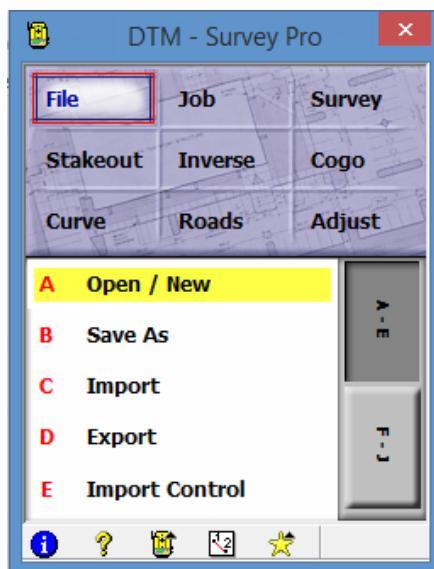


Figura 3.9: Opción de apertura de archivo. Fuente: (Ramírez 2021).

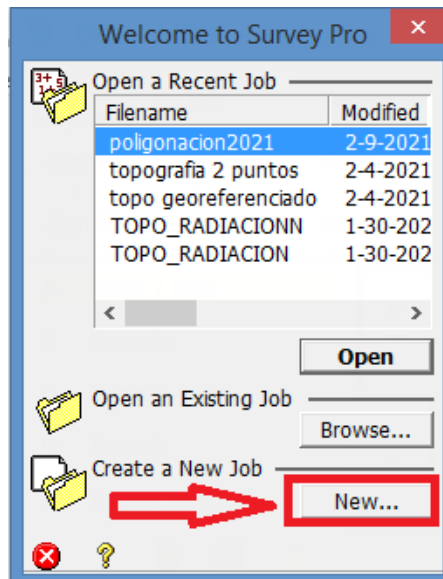


Figura 3.10: Apertura de un nuevo trabajo. Fuente: (Ramírez 2021).

A continuación, debemos ingresar el nombre de nuestro trabajo (DTM en nuestro ejemplo) y damos click en “Next”, ver Figura 3.11.

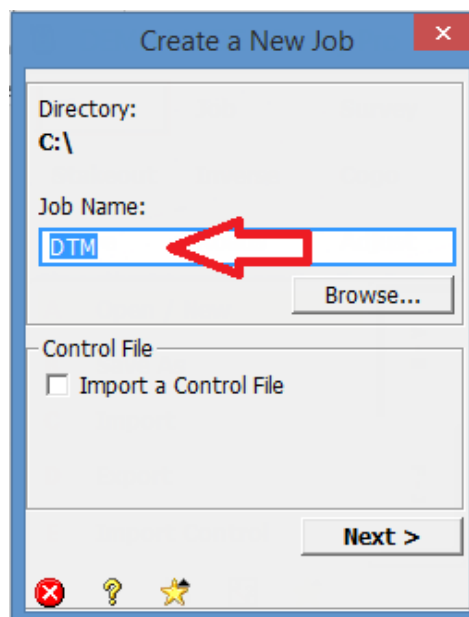
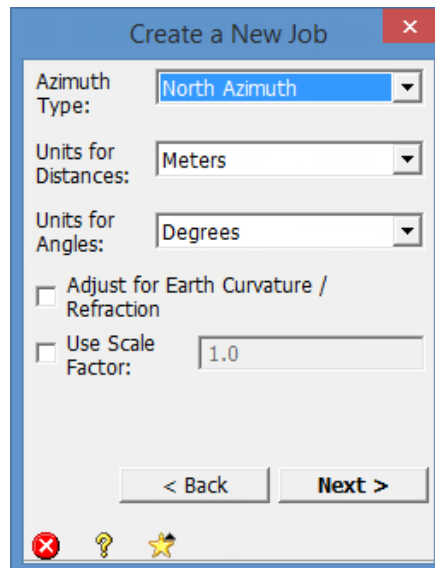


Figura 3.11: Nombre del archivo. Fuente: (Ramírez 2021).

Paso 2: Configuración de las unidades de medida.



The screenshot shows a dialog box titled "Create a New Job" with a close button (X) in the top right corner. The dialog contains the following fields and options:

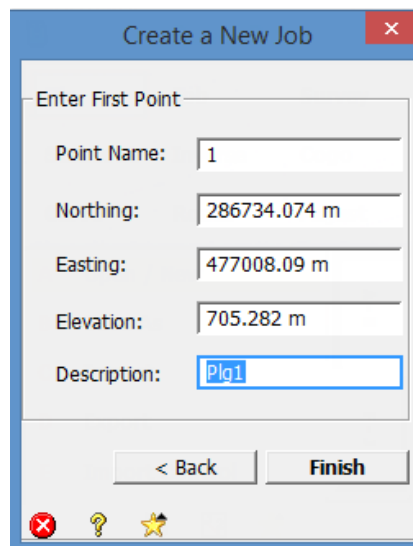
- Azimuth Type:** A dropdown menu set to "North Azimuth".
- Units for Distances:** A dropdown menu set to "Meters".
- Units for Angles:** A dropdown menu set to "Degrees".
- Adjust for Earth Curvature / Refraction**
- Use Scale Factor:** A text input field containing "1.0".

At the bottom of the dialog, there are two buttons: "< Back" and "Next >". The "Next >" button is highlighted in blue. At the very bottom, there are three small icons: a red X, a yellow question mark, and a yellow star.

Figura 3.12: Configuración de unidades de medida. Fuente: (Ramírez 2021).

Se debe dejar la configuración como se muestra en la Figura 3.12 y damos click en "Next".

Paso 3: Ingresar nombre, coordenadas, elevación y descripción de nuestro punto ocupado (coordenada de amarre No 1) en el formato requerido (LAMBERT SIRGAS ESA 2007).



The screenshot shows the same "Create a New Job" dialog box, but now with the "Enter First Point" section expanded. The fields are filled with the following data:

- Point Name:** "1"
- Northing:** "286734.074 m"
- Easting:** "477008.09 m"
- Elevation:** "705.282 m"
- Description:** "Plq1" (highlighted in blue)

At the bottom, the buttons are "< Back" and "Finish". The "Finish" button is highlighted in blue. The same three small icons (red X, yellow question mark, yellow star) are at the bottom.

Figura 3.13: Configuración de coordenadas de punto ocupado. Fuente: (Ramírez 2021).

En “Point Name” ingresamos siempre el número 1, éste será nuestro punto ocupado. En el apartado de “Northing” y “Easting” ingresamos las coordenadas de “Y” y “X” respectivamente, luego se ingresa la elevación ortométrica para finalmente en “Description” agregar una descripción a nuestro punto ocupado que generalmente es “Plg1”, ver Figura 3.13.

Luego damos click en “Finish”.

Paso 4: Configuración de sincronización de Colector – Estación Total.

Hacer click en “Job” y posteriormente ingresar a “Settings” según Figura 3.14.

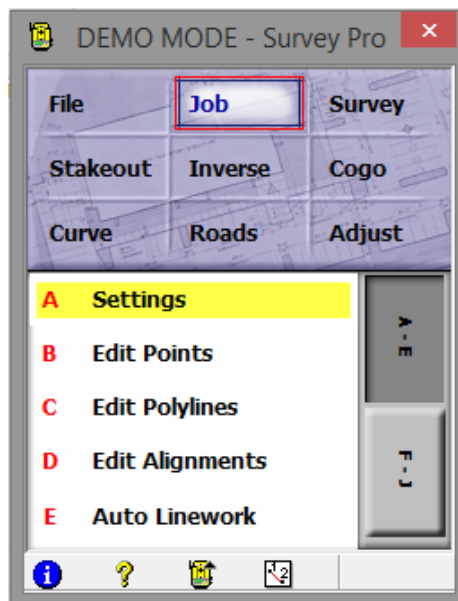


Figura 3.14: Configuración de sincronización Colector-Estación. Fuente: (Ramírez 2021).

Luego hacemos click en “Create New Instrument” para agregar un nuevo equipo como se muestra en Figura 3.15.

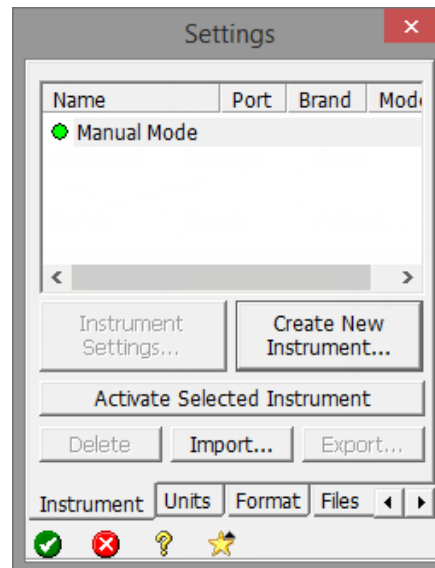


Figura 3.15: Creación de un nuevo instrumento. Fuente: (Ramírez 2021).

Posteriormente como se presenta en la Figura 3.16, agregamos el nombre de nuestro equipo, desplegamos en “Brand” y elegimos la marca del equipo que poseemos, en nuestro caso, estamos utilizando una Estación Total Sokkia modelo SET 6 50RX.

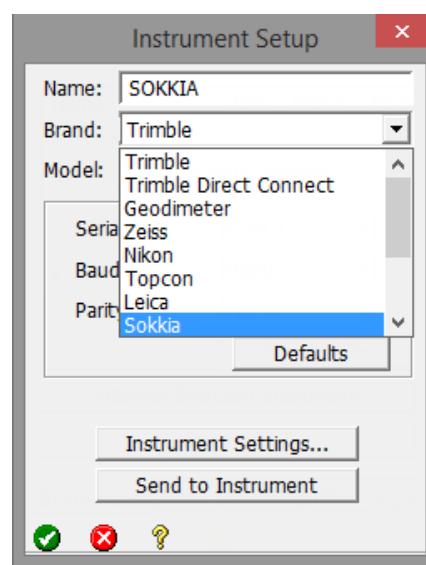


Figura 3.16: Selección de la marca del equipo. Fuente: (Ramírez 2021).

Se procede a elegir el modelo de nuestro equipo en base a Figura 3.17, al no tenerse el modelo que poseemos, elegimos el modelo SET B que es un modelo generalizado que incluye modelos de Estación Total Sokkia.

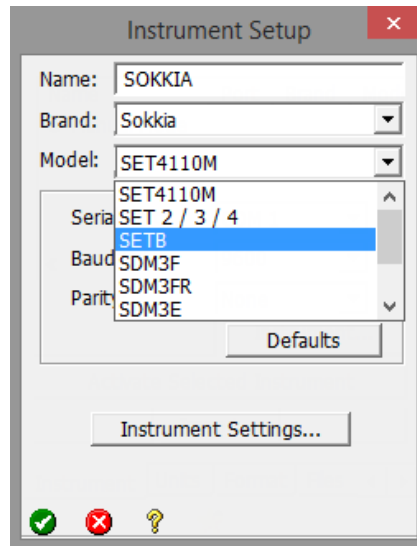


Figura 3.17: Selección del modelo del equipo. Fuente: (Ramírez 2021).

El paso final es configurar la velocidad de transferencia de datos según Figura 3.18, desplegando “Serial Port”, hay que recalcar que la Estación Total y en la configuración del colector que se muestra se debe tener el mismo valor (19200 como ejemplo); las demás configuraciones se dejan tal como se muestra en Figura 3.19.

Para que las configuraciones se guarden debemos hacer click siempre sobre el cheque verde que aparece en la parte inferior izquierda de la pantalla del colector

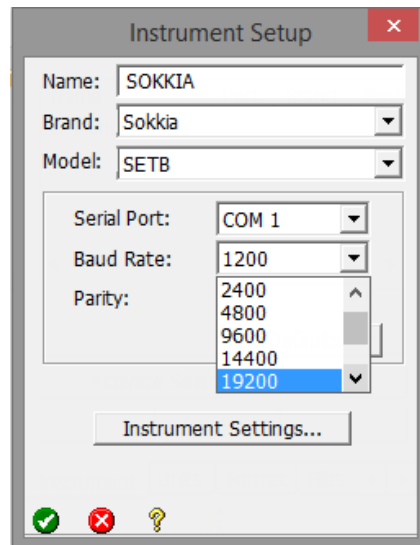


Figura 3.18: Configuración de Baudios en estación total y colector. Fuente: (Ramírez 2021).

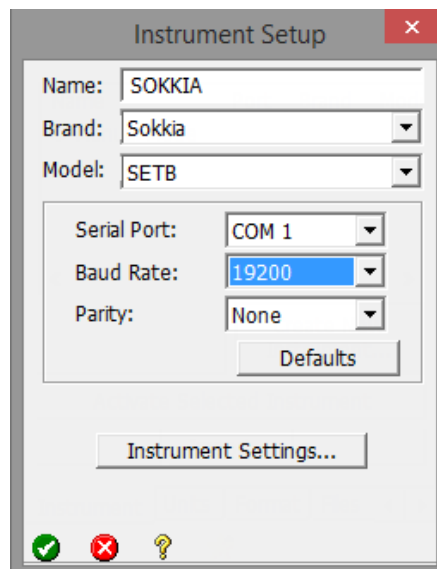


Figura 3.19: Configuraciones estáticas. Fuente: (Ramírez 2021).

Paso 5: Ingreso de coordenada de amarre No 2 (vista atrás).

Para realizar el trazo de nuestra poligonal se necesita un punto con coordenadas conocidas y precisas utilizado para dar vista atrás. A continuación, se muestra el procedimiento.

Según Figura 3.20, siempre en el apartado de “Job”, damos click en “Edit Point”.

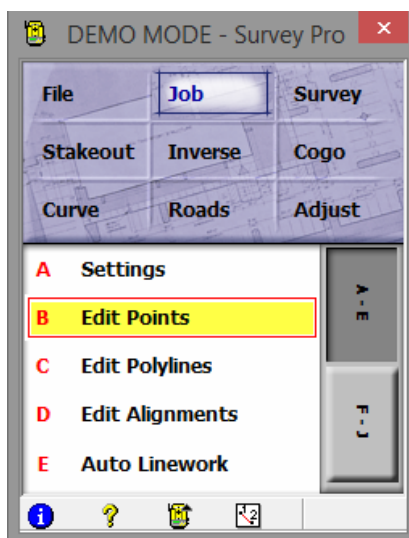


Figura 3.20: Ingreso a sección B. Fuente: (Ramírez 2021).

Según Figura 3.21, hacemos click en “Insert” para agregar los datos de nuestro punto.

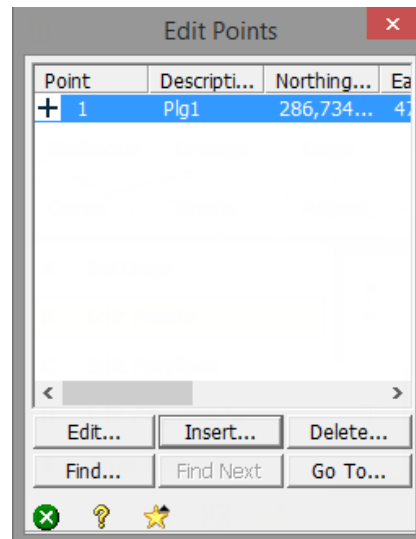


Figura 3.21: Insertar punto No 2. Fuente: (Ramírez 2021).

Ingresamos el nombre de nuestro punto en “Point Name” y la descripción en “Description” según Figura 3.22 y luego hacemos click en “Location”. En nuestro proyecto usamos 2000 para el nombre del punto para evitar confusiones en el ajuste de la poligonal; Plg 12 era el nombre real y descripción del punto.

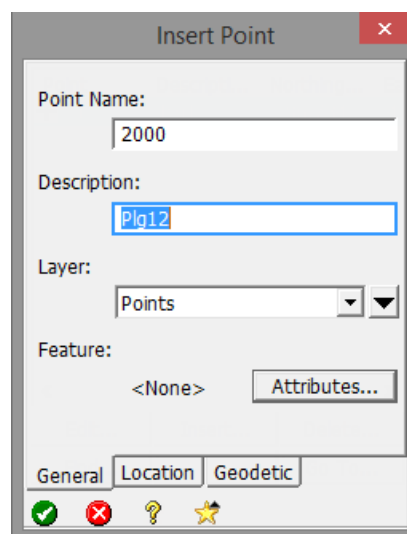
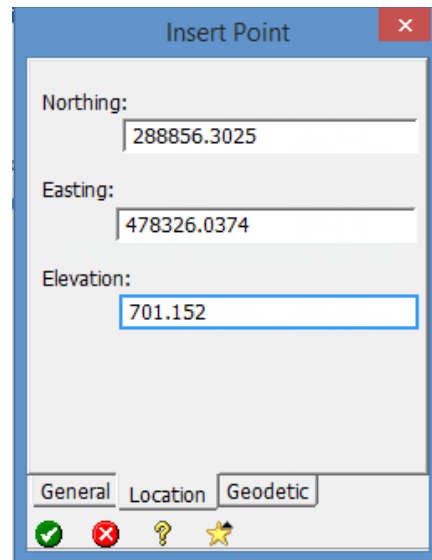


Figura 3.22: Nombre y descripción de punto. Fuente: (Ramírez 2021).

Al ingresar a “Location” ingresamos los datos de nuestro punto conocido como se muestra en Figura 3.23.



Insert Point

Northing:
288856.3025

Easting:
478326.0374

Elevation:
701.152

General Location Geodetic

✓ ✗ ? ★

Figura 3.23: Coordenadas de punto de amarre. Fuente: (Ramírez 2021).

Para guardar se hace click en el cheque verde de la izquierda inferior y para salir de la ventana siempre se hace click en el símbolo “X”.

Paso 6: Configuración del punto ocupado y la vista atrás.

Ingresamos al apartado de “Survey” e ingresamos a “Backsight Setup” como se muestra en Figura 3.24.

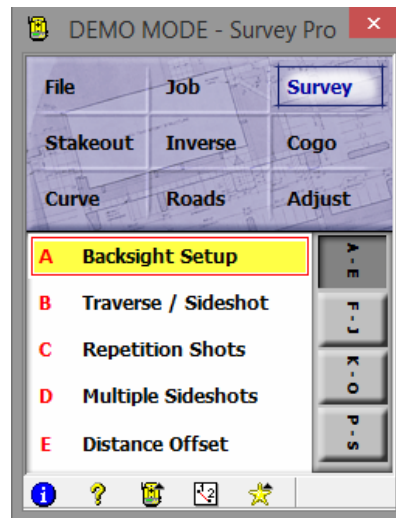
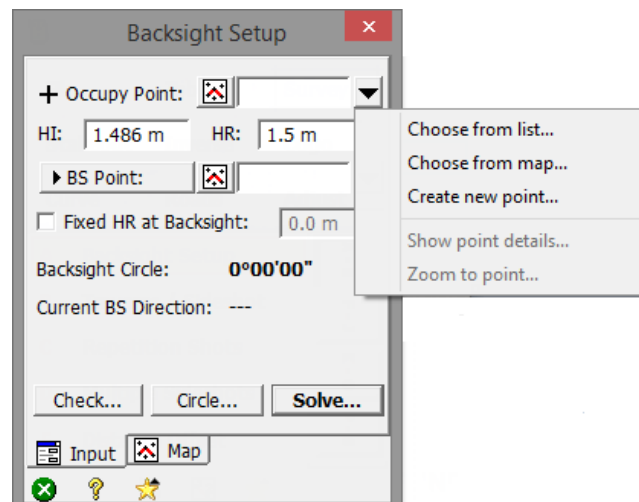


Figura 3.24: Configuración de vista atrás (Backsight). Fuente: (Ramírez 2021).

En “Occupy Point” desplegamos y elegimos “Choose from list” para agregar nuestro punto ocupado desde la lista previamente ingresada como se muestra



en Figura 3.25.

Figura 3.25: Menú vista atrás (Backsight). Fuente: (Ramírez 2021).

Seleccionamos el punto 1 que es el punto ocupado (donde estamos estacionados) como se muestra en la Figura 3.26 a continuación, y damos click en el cheque verde en la izquierda inferior.

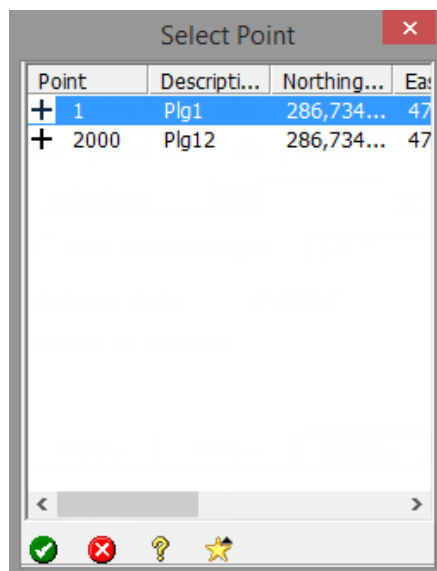


Figura 3.26: Selección del punto ocupado. Fuente: (Ramírez 2021).

De igual forma, para la vista atrás elegimos “BS Point” y desplegamos la lista para seleccionar el punto 2000 que es el punto de coordenadas conocidas ingresado para la vista atrás, ver Figura 3.27. Si no tenemos un punto con coordenadas conocidas debemos elegir “BS Direction” haciendo click sobre “BS Point” una vez, esto es, para dar vista atrás a una dirección conocida que generalmente es el Norte Magnético.

En los apartados de “HI” y “HR” ingresamos siempre la altura del aparato y la altura del prisma respectivamente.

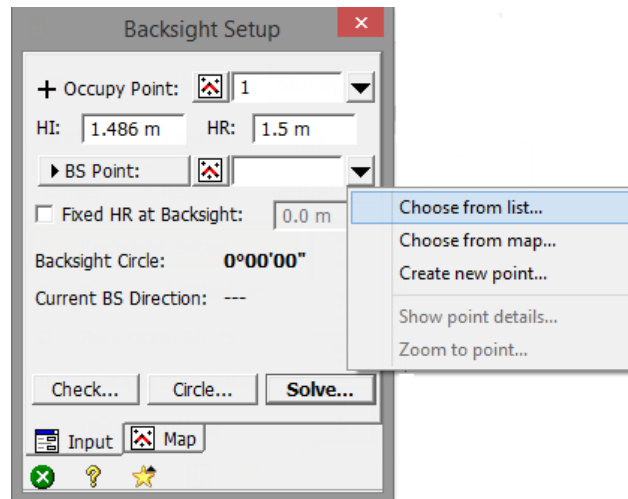


Figura 3.27: Selección del punto para vista atrás. Fuente: (Ramírez 2021).

Paso 7: Vista atrás a partir de punto ocupado.

Luego de las configuraciones del paso 6, procedemos a dar vista atrás desde el equipo disparando al prisma en el punto 2000. Damos click en “Circle” según Figura 3.28, nos debe aparecer la pantalla que se muestra en Figura 3.29.

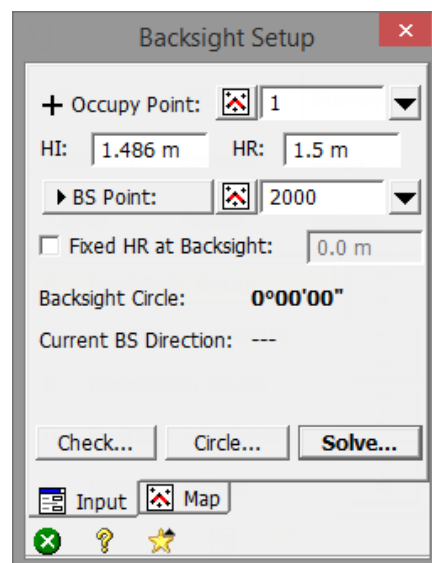


Figura 3.28: Baksight configurado. Fuente: (Ramírez 2021).

Para poner en cero el conteo de la Estación Total se puede hacer de 2 maneras:

1. Manualmente en cero a través de “0set” desde el equipo y leer desde el equipo.
2. Enviando el cero desde el Colector a través de “Set” como se muestra en Figura 3.29. Al usar este método, al dar click en set, automáticamente debe poner en cero la Estación Total, esto, si hay una correcta sincronización Equipo-Colector.

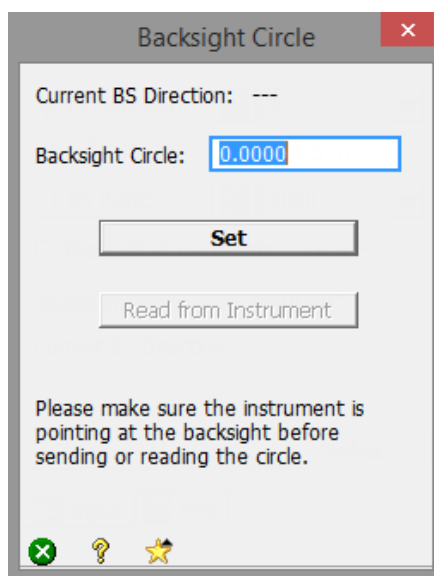


Figura 3.29: Puesta en cero para línea base, pantalla generada por “Circle”. Fuente: (Ramírez 2021).

En este caso usaremos el método 2, para finalizar, debemos dar click en “Solve”, ver Figura 3.28, y dar click en “Send circle”, ver Figura 3.30. Guardamos la configuración con el cheque verde en la izquierda inferior y nos debe aparecer una pantalla donde se muestran los dos puntos (ocupado y vista atrás) unidos

por una línea recta conocida como línea base, ver Figura 3.31, luego, cerramos la ventana con “x” y estamos listo para empezar nuestro levantamiento.

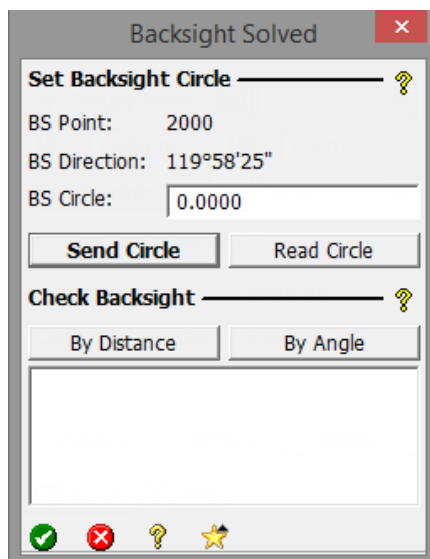


Figura 3.30: Pantalla generada por “Solve”. Fuente: (Ramírez 2021).

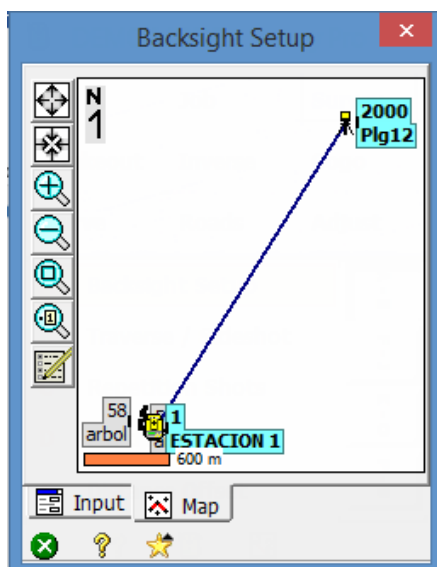


Figura 3.31: Definición de línea base. Fuente: (Ramírez 2021).

Paso 8: Levantamiento utilizando “Traverse/Sideshot”.

Radiación.

Para aplicar el método de Radiación basta con realizar disparos (hacer click en Sideshot), hacia el prisma sobre todos los puntos que se logran visualizar desde el punto ocupado o punto 1, estos puntos pueden ser los de un lindero o puntos dentro del terreno (Nivel) que usaremos para generar el DMT o cualquier tipo de estudio generalmente hablando, ver Figura 3.32.

Para este modelo de Estación Total, Cuando el punto es capturado se escuchan dos sonidos de forma consecutiva, luego, en el colector nos aparece la confirmación para almacenar el punto en donde podemos cambiar la descripción o el número del punto si es necesario. Cuando estamos seguros, damos click en el cheque verde para almacenar el punto, de forma automática nos agrega el siguiente punto a levantar.

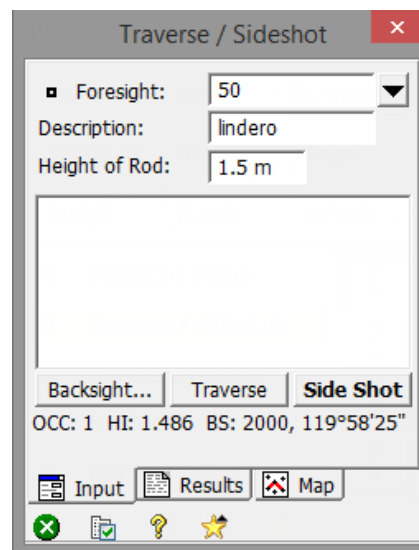


Figura 3.32: Ingreso de nombre y descripción de punto y Side Shot. Fuente: (Ramírez 2021).

Antes de dar click en “Sideshot”, en “Foresight” ingresamos el número del punto que vamos a levantar, se recomienda utilizar puntos por arriba de 50 para evitar confusiones con la numeración de la poligonal (puntos arriba de 1), ver figura 3.32.

En “Description” agregamos la descripción del grupo de puntos, mientras que “Height of Rod” representa la altura del prisma. En la parte inferior, podemos observar de forma resumida nuestro punto ocupado (CC), la altura del aparato (HI) y el punto de vista atrás (BS).

En nuestro levantamiento, utilizamos la numeración de 1-10 para definir la poligonal de amarre (a través de “Traverse”), 50-99 para definir el lindero y 100 en adelante para los puntos sobre el terreno (Nivel).

Poligonación.

El método de Poligonación se utiliza cuando ya no es posible visualizar puntos en el terreno desde un punto ocupado, se opta entonces, por realizar un cambio de estación para generar un nuevo punto ocupado y visualizar otro grupo de puntos (de lindero o sobre el terreno propio). El procedimiento es el siguiente:

Para realizar el cambio de estación a un nuevo punto, se debe agregar el número de éste en “Foresight”, mientras que en “Description” se insertará la descripción del segundo punto ocupado (Plg2), ver Figura 3.33. El paso siguiente es dar click en “Traverse” mientras enfocamos con el equipo hacia el nuevo punto (Plg2).

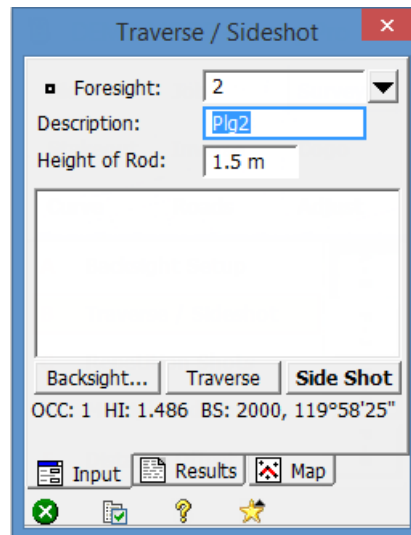


Figura 3.33: Uso de Traverse. Fuente: (Ramírez 2021).

Al dar click en “Traverse” nos aparece si deseamos “mover el equipo ahora” (Traverse Now), ver Figura 3.34, hacemos click en ésta opción y luego se procede a desmontar el equipo; luego procedemos a nivelar el equipo en el nuevo punto ocupado (Plg2).

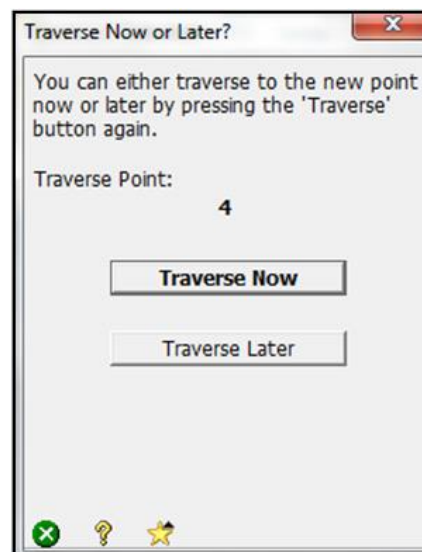


Figura 3.34: Confirmación de movimiento del equipo. Fuente: (Ramírez 2021).

Paso 9: Vista atrás desde el nuevo punto de la poligonal.

En este paso, al dar click en “Traverse Now” nos dirige a una pantalla en donde debemos repetir el paso 7 o “Backsight Setup” (dando click en “Circle” y “Solve”). Ahora nuestro punto ocupado será el “Plg2” y la vista atrás la daremos hacia el punto ocupado anterior (Plg1); en la configuración del paso 7 debemos ingresar los nuevos parámetros (altura de aparato, ver figura 3.35 y altura de prisma si se modificó, ver paso 7) de nuestro nuevo punto ocupado antes de hacer click en “Circle” y “Solve” enfocando el punto “Plg1”.

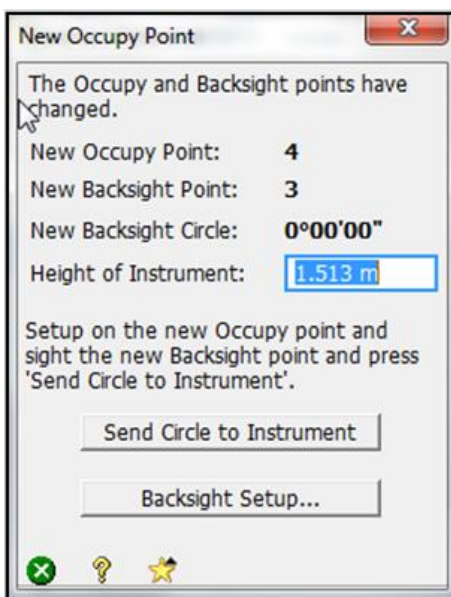


Figura 3.35: Ingreso de nueva altura de aparato. Fuente: (Ramírez 2021).

Luego de este procedimiento estamos listos para seguir levantando puntos ya sean de lindero o puntos dentro del terreno.

Paso 10: Levantamiento del siguiente grupo de puntos.

Para seguir levantando puntos desde el nuevo punto ocupado, debemos dar click en "Sideshot" según paso 8 utilizando el método de radiación.

Cuando ya no se logren visualizar más puntos desde el nuevo punto ocupado "Plg2", se debe colocar otro nuevo "Plg" utilizando la herramienta de "Traverse" según el paso 8 en la sección de Poligonación.

Paso 11: Cierre de la poligonal de amarre.

Cuando ya se tiene levantado todo el terreno agregando un número necesario de puntos en la poligonal de amarre (Plgs), se procede a realiza el cierre de esta.

Para cerrar la poligonal de amarre desde el último punto ocupado (en nuestro caso fue Plg9), basta con hacer otro "Traverse" con el número siguiente (Plg10) y enfocando con el equipo el punto ocupado inicial "Plg1". Cuando hacemos click en "Traverse" y nos aparece la opción de mover el equipo ahora (Traverse Now), debemos simplemente salir de la ventana haciendo click en el botón "x" sin hacer click en nada más. A partir de este paso tenemos la poligonal cerrada.

Existe una forma de verificar que tenemos la poligonal cerrada y consiste en realizar una comparación de "Plg1 y Plg10", estas coordenadas deben ser iguales para que la poligonal esté cerrada de forma lineal y angular. Obviamente, siempre existen errores a la hora de los levantamientos y la poligonal tendrá un error de cierre; en nuestro levantamiento topográfico no se debía exceder de 10 cm de error lineal, esta precisión depende de la naturaleza de cada levantamiento y su aplicación.

Para realizar un cierre total angular y lineal, se debe llevar a cabo un ajuste a todos los puntos que conforman la poligonal de amarre con el mismo software del colector, este paso se resume en el apartado siguiente.

Nota: Para simplificar el levantamiento cuando no somos muy diestros en el manejo del equipo de medición, se recomienda levantar la poligonal de amarre antes, solamente con "Traverse", luego, para continuar nuestro levantamiento, nos estacionamos en cualquiera de los puntos de la poligonal y damos vista atrás a cualquier punto visible desde el punto ocupado (configurar "Backsight" según paso 7 usando los puntos ya registrados de la poligonal) y se procede a levantar puntos utilizando "Sideshot". Cuando ya no se tenga visibilidad de más puntos, se debe hacer cambio de estación a otro punto y repetir el paso 7 para seguir levantando puntos dentro del terreno con "Sideshot".

Ajuste de la poligonal de amarre.

Paso 1: ingresar el menú.

Debemos ingresar al apartado de "Adjust" y posteriormente a "Traverse Adjust" según figura 3.36.

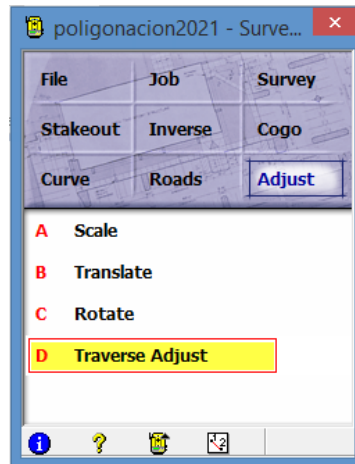


Figura 3.36: Sección 4, ajuste de poligonal. Fuente: (Ramírez 2021).

En “To/From” debemos ingresar el rango de los puntos que conforman nuestra Poligonal, para este ejemplo estamos utilizando un proyecto creado previamente que tiene 6 puntos, elegimos el rango “1-6” y damos click en aceptar en la parte inferior izquierda; se procede también a marcar las opciones que se muestran (Compass Rule/Bowditch Adjustment y Adjust Elevations) que es el método de ajuste, luego, hacemos click en “Next”, ver Figura 3.37 y figura 3.38.

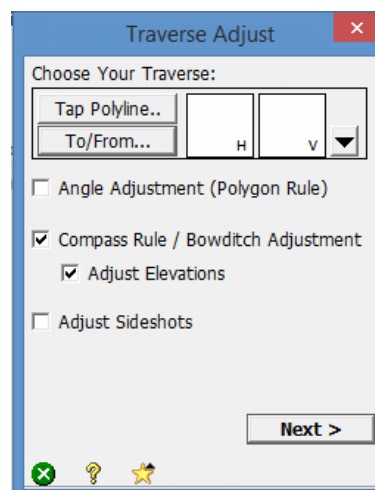


Figura 3.37: Selección del método de ajuste. Fuente: (Ramírez 2021).

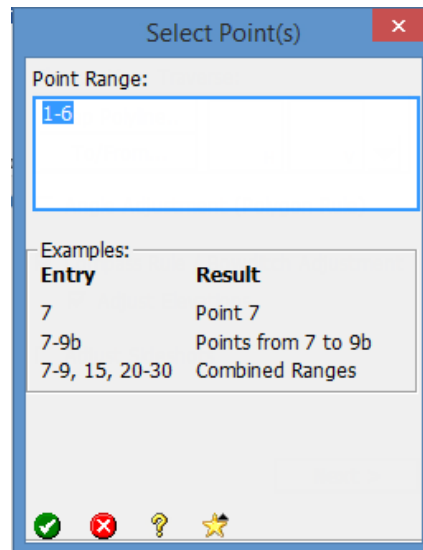


Figura 3.38: Definición del rango de puntos. Fuente: (Ramírez 2021).

Nos aparece la pantalla que se muestra en Figura 3.39, hacemos click en “Ok”.

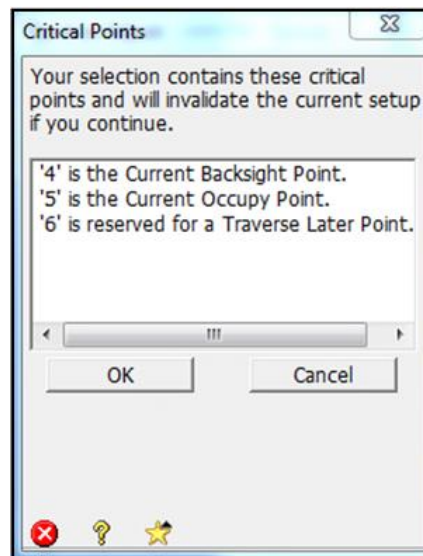


Figura 3.39: Confirmación para seguir ajuste. Fuente: (Ramírez 2021).

Al dar click en “OK” nos aparece la pantalla que se muestra en Figura 3.40, acá, se debe elegir la opción de “Close Traverse” que representa una Poligonal Cerrada, luego, damos click el “Next”.

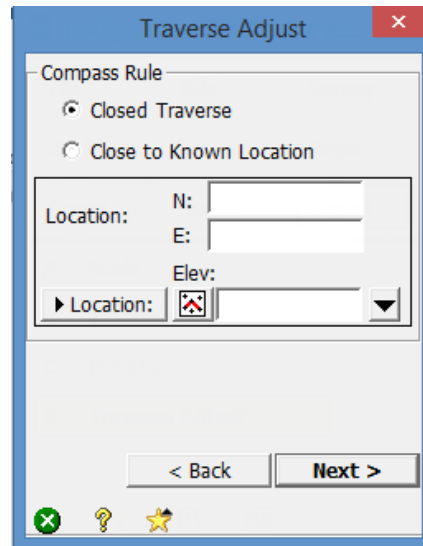


Figura 3.40: Selección del tipo de poligonal. Fuente: (Ramírez 2021).

Al hacer click en siguiente, nos aparece una pantalla en donde nos muestra el error lineal, el error angular, la precisión y otros datos. En esta parte debemos verificar si la precisión está en el rango permisible según los requerimientos del proyecto. Si está dentro del rango, hacemos click en “Adjust” y posteriormente en “Yes”, ver Figura 3.41; si nos pasamos de la tolerancia permitida, se recomienda repetir el levantamiento de la Poligonal.

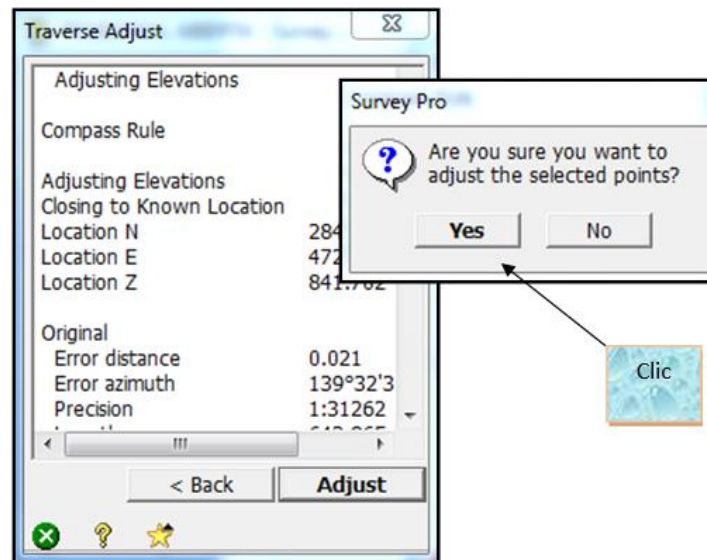


Figura 3.41: Ajustar poligonal. Fuente: (Ramírez 2021).

El paso final es simplemente dar click en “Done” para finalizar el ajuste de la Poligonal, ver Figura 3.42.

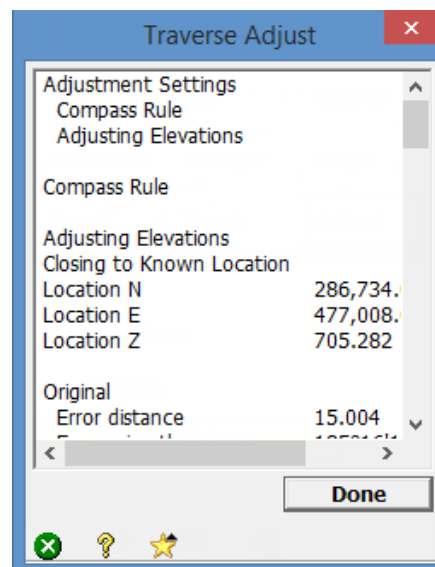


Figura 3.42: Finalizar ajuste. Fuente: (Ramírez 2021).

Nota: Se recomienda antes de ajustar una Poligonal, crear una copia previamente en el apartado de “File” para evitar realizar trabajos nuevamente o para realizar comparaciones post ajuste.

Exportar nuestro levantamiento.

Paso 1: Ingresar al apartado de “File”, ver Figura 3.43.

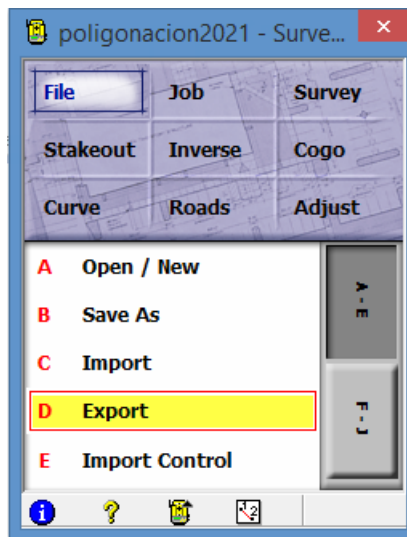


Figura 3.43: Sección D, exportar datos. Fuente: (Ramírez 2021).

Cuando hacemos click en “Export” nos muestra una lista de formatos para nuestro archivo, elegimos el formato “Txt” y damos click en “Export”, ver Figura 3.44.

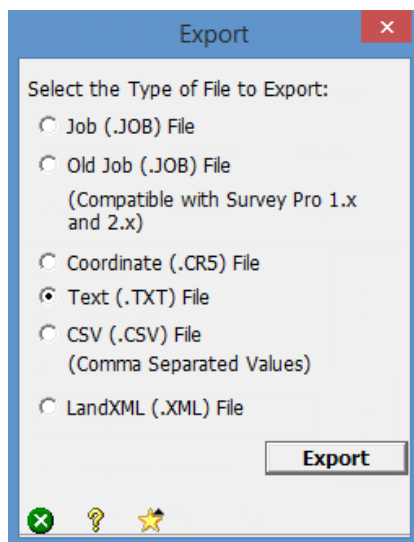


Figura 3.44: Selección del formato de datos. Fuente: (Ramírez 2021).

Ingresamos luego a “To/from”, acá, ingresamos el rango que incluya todos los puntos que levantamos; por ejemplo: 1-1000, damos en aceptar y finalmente en “Next”, ver Figura 3.45 y Figura 3.46.

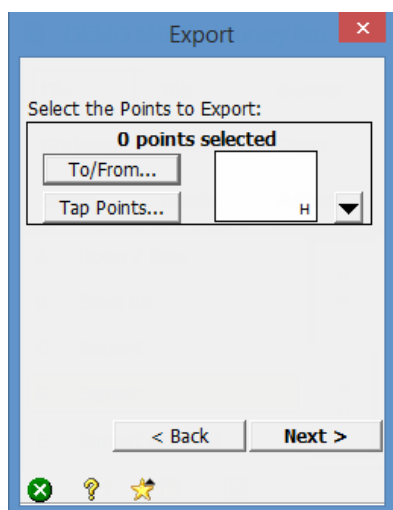


Figura 3.45: Editar rango de datos.

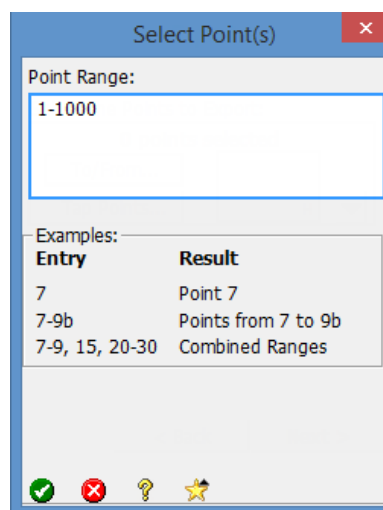


Figura 3.46: Ingreso de rango de datos-

Fuente: (Ramírez 2021).

Luego procedemos a elegir el formato que tendrán nuestras coordenadas; elegimos delimitado por comas (Comma) y en coordenadas (Coordinates) elegimos “Plane” y damos click en “Next”, ver Figura 3.47.

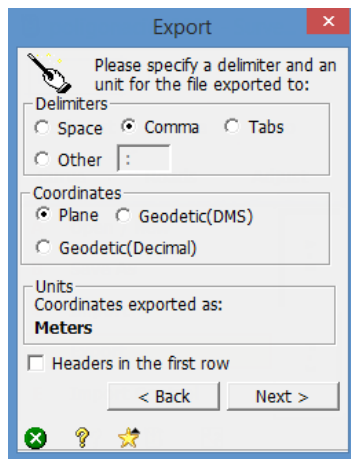


Figura 3.47: Edición del formato de datos. Fuente: (Ramírez 2021).

El siguiente paso es elegir el formato de exportación; elegimos el formato N, X, Y, Z, D y damos click en “Finish”, hay que recalcar que debemos respetar este formato a la hora de importar en nuestro Software (Surfer, Civil 3D, etc), ver Figura 3.48.

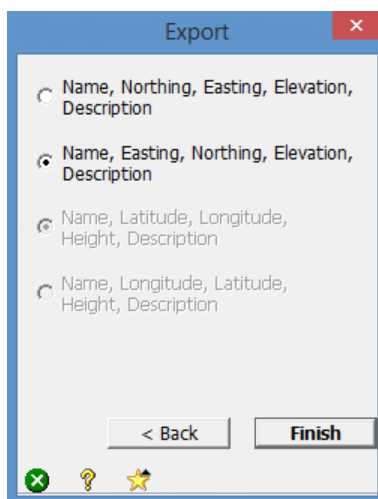


Figura 3.48: Formato de exportación. Fuente: (Ramírez 2021).

Finalmente se procede a darle un nombre a nuestro proyecto y lo guardamos en una carpeta específica dentro del colector, el paso final es dar click en el cheque verde la izquierda inferior para exportar nuestro proyecto, ver Figura 3.49.

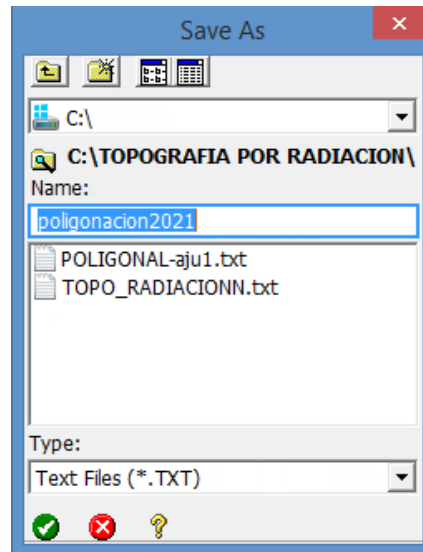


Figura 3.49: Nombrar el archivo. Fuente: (Ramírez 2021).

Para extraer el proyecto exportado dentro del colector, debemos hacer uso de un cable para transferir el archivo a nuestra computadora.

3.3.3 Datos obtenidos con Estación Total.

Los resultados obtenidos se presentarán en tres agrupaciones de datos en función a las coordenadas de los puntos numerados de la siguiente manera: del 1 al 10 para la Poligonal de amarre, del 50 al 87 para el Perímetro del terreno y del 100 en adelante para los puntos de Nivel.

Resultados obtenidos con estación total para la poligonal base:

N. PUNTO	X (m)	Y (m)	Z (m)	DESCRIPCIÓN
1	478262.769	288900.821	699.209	plg1
2	478297.868	288903.425	698.280	plg2
3	478304.080	288991.018	695.874	plg3
4	478372.235	288999.424	694.699	plg4
5	478421.886	288969.730	692.462	plg5
6	478417.043	288911.071	691.864	plg6
7	478392.668	288885.473	698.436	plg7
8	478346.859	288911.041	698.290	plg8
9	478299.060	288899.801	698.278	plg9
10	478262.769	288900.821	699.209	plg10

Tabla 3.1: Datos de poligonal de amarre obtenidos con estación total. Fuente: (Grupo de Tesis, 2021).

Resultados obtenidos con estación total para perímetro del terreno:

No PUNTO	X(m)	Y(m)	Z(m)	DESCRIPCIÓN
50	478280.499	288912.194	698.659	lindero
51	478280.553	288916.021	698.837	lindero
52	478280.370	288925.528	697.701	lindero
53	478277.839	288933.559	698.092	lindero
54	478282.329	288939.367	697.832	lindero
55	478282.489	288945.635	694.550	lindero

56	478277.908	288933.560	698.140	lindero
57	478281.962	288967.492	692.947	lindero
58	478286.665	288980.219	692.797	lindero
59	478291.932	288989.760	693.300	lindero
60	478296.598	288996.319	696.277	lindero
61	478300.556	289001.260	695.807	lindero
62	478302.593	289016.726	696.256	lindero
63	478321.123	289015.452	696.034	lindero
64	478338.302	289014.353	696.115	lindero
65	478357.854	289013.379	696.317	lindero
66	478374.100	289011.958	696.277	lindero
67	478385.538	289009.616	695.728	lindero
68	478398.276	289003.669	695.263	lindero
69	478404.436	288999.566	694.995	lindero
70	478412.493	288992.093	694.560	lindero
71	478417.399	288985.890	694.294	lindero
72	478423.249	288975.770	693.891	lindero
73	478426.885	288965.317	693.511	lindero
74	478428.658	288954.537	693.087	lindero
75	478428.205	288942.592	692.475	lindero
76	478425.472	288929.912	692.022	lindero

77	478421.081	288912.403	691.678	lindero
78	478418.720	288909.201	691.837	lindero
79	478407.815	288897.827	692.959	lindero
80	478394.314	288883.728	698.522	lindero
81	478371.046	288902.820	698.287	lindero
82	478355.761	288901.065	698.366	lindero
83	478338.479	288904.013	698.119	lindero
84	478333.021	288906.411	698.122	lindero
85	478316.055	288903.867	698.214	lindero
86	478305.070	288898.808	698.323	lindero
87	478279.740	288891.841	698.404	lindero

Tabla 3.2: Datos de lindero obtenidos con estación total. Fuente: (Grupo de Tesis, 2021).

Resultados obtenidos con estación total para puntos de nivel en el terreno

N. PUNTO	X (m)	Y (m)	Z (m)	DESCRIPCIÓN
100	478391.635	288886.676	698.436	niv
101	478390.013	288888.646	698.369	niv
102	478388.480	288890.648	698.316	niv
103	478386.644	288892.617	698.224	niv
104	478385.296	288894.837	697.964	niv
105	478381.228	288896.856	698.114	niv

106	478375.475	288900.878	698.324	niv
107	478378.946	288903.599	698.089	niv
108	478380.976	288901.749	698.002	niv
109	478383.502	288899.396	697.787	niv
110	478385.651	288897.801	697.691	niv
111	478387.500	288896.199	697.607	niv
112	478388.862	288894.456	697.671	niv
113	478393.451	288887.849	697.866	niv
114	478396.503	288886.784	697.202	niv
115	478395.066	288888.837	697.121	niv
116	478393.494	288891.329	697.128	niv
117	478392.113	288893.226	697.142	niv
118	478390.193	288896.291	697.127	niv
119	478388.097	288899.561	697.145	niv
120	478385.460	288901.428	697.486	niv
121	478383.611	288903.899	697.542	niv
122	478380.202	288906.411	697.945	niv
123	478383.135	288908.484	696.459	niv
124	478385.477	288905.504	696.679	niv
125	478387.980	288903.033	696.405	niv
126	478389.953	288901.055	696.160	niv

127	478383.616	288909.592	695.727	niv
128	478388.075	288908.075	694.823	niv
130	478386.262	288913.435	692.511	niv
131	478390.511	288911.122	692.430	niv
132	478393.575	288909.059	692.390	niv
133	478396.191	288905.384	692.602	niv
134	478400.310	288902.178	692.573	niv
135	478390.161	288904.992	695.064	niv
136	478392.619	288902.237	694.884	niv
137	478395.970	288897.892	694.877	niv
140	478402.799	288891.025	694.051	niv
141	478404.710	288895.105	693.443	niv
142	478409.502	288900.832	692.454	niv
143	478406.612	288905.183	692.320	niv
144	478401.135	288908.890	692.203	niv
145	478394.411	288914.026	692.114	niv
146	478384.262	288919.676	692.314	niv
147	478390.634	288935.344	691.787	niv
152	478412.654	288911.050	691.973	niv
153	478421.430	288932.769	691.951	niv
154	478410.165	288938.141	691.910	niv

155	478394.868	288945.002	691.834	niv
156	478399.155	288962.540	692.074	niv
157	478413.610	288960.234	692.254	niv
158	478424.345	288960.618	692.338	niv
159	478419.741	288974.074	692.598	niv
160	478410.093	288974.258	692.613	niv
161	478398.896	288975.739	692.506	niv
162	478398.268	288984.395	693.171	niv
163	478410.360	288979.625	692.916	niv
164	478418.373	288978.379	692.792	niv
166	478410.875	288987.016	693.637	niv
167	478414.669	288984.778	693.400	niv
168	478419.145	288981.040	693.366	niv
172	478420.803	288975.842	692.952	niv
173	478422.981	288971.713	692.723	niv
174	478423.763	288972.134	693.626	niv
175	478422.333	288976.692	693.480	niv
176	478420.365	288979.770	694.184	niv
177	478419.788	288981.519	694.143	niv
178	478418.390	288983.879	694.166	niv
179	478415.849	288986.309	694.309	niv

180	478412.526	288988.544	694.920	niv
181	478413.355	288988.653	694.335	niv
182	478409.867	288990.256	694.983	niv
183	478408.536	288993.203	694.889	niv
184	478409.587	288994.594	694.704	niv
185	478407.058	288992.023	693.520	niv
186	478404.095	288993.169	693.389	niv
187	478406.555	288995.993	694.690	niv
188	478401.795	288999.268	694.628	niv
189	478399.544	288996.962	695.934	niv
190	478392.636	288998.295	695.594	niv
191	478392.824	289003.957	695.691	niv
192	478389.284	288998.008	696.119	niv
193	478386.031	288999.474	695.823	niv
194	478383.245	288998.667	696.018	niv
195	478386.862	289005.209	696.026	niv
196	478384.472	289003.810	695.883	niv
197	478382.267	289008.524	695.938	niv
198	478377.976	289009.525	695.903	niv
199	478373.585	289010.445	696.430	niv
200	478369.335	289011.005	696.059	niv

201	478363.164	289011.702	695.682	niv
202	478368.624	289008.889	695.181	niv
203	478374.613	289008.309	695.025	niv
204	478381.048	289006.858	694.961	niv
205	478381.925	289004.203	694.883	niv
206	478382.139	288997.954	694.092	niv
207	478389.223	288996.369	693.847	niv
208	478397.996	288995.624	693.749	niv
209	478388.336	288987.663	693.366	niv
210	478376.599	288991.324	693.894	niv
211	478362.413	288994.689	694.856	niv
212	478359.148	288980.054	692.241	niv
214	478371.724	288979.623	692.189	niv
215	478378.596	288979.528	692.241	niv
216	478383.971	288978.690	692.181	niv
217	478389.778	288977.617	692.210	niv
218	478395.210	288975.251	692.391	niv
219	478384.245	288983.108	692.994	niv
220	478378.334	288986.014	693.351	niv
221	478372.756	288987.161	693.537	niv
222	478366.223	288987.291	693.663	niv

223	478356.833	288988.723	694.374	niv
227	478379.907	288950.194	691.772	niv
228	478360.614	288953.819	691.830	niv
229	478341.188	288955.922	692.203	niv
232	478308.964	288960.305	692.671	niv
233	478293.868	288962.112	692.963	niv
236	478341.268	288976.122	692.533	niv
237	478348.067	288980.113	692.617	niv
238	478359.091	288938.421	692.303	niv
239	478356.601	288921.048	694.097	niv
240	478388.090	288927.926	691.944	niv
241	478378.095	288931.279	692.058	niv
242	478368.866	288934.051	692.325	niv
243	478362.634	288919.333	693.855	niv
244	478373.003	288918.436	693.297	niv
245	478380.274	288916.089	693.062	niv
246	478347.785	288921.965	694.315	niv
248	478335.713	288922.402	694.549	niv
249	478318.882	288922.191	695.056	niv
251	478318.980	288938.995	692.764	niv
252	478331.799	288941.357	692.242	niv

253	478343.611	288939.305	692.173	niv
255	478353.958	288994.064	695.343	niv
256	478336.250	288993.336	695.553	niv
257	478319.781	288993.722	695.696	niv
258	478302.278	288997.642	695.833	niv
259	478303.176	289013.995	695.837	niv
260	478323.641	289011.819	695.774	niv
261	478337.150	289011.518	696.041	niv
262	478354.628	289010.529	695.960	niv
263	478352.117	288989.948	696.051	niv
264	478356.543	288987.325	695.825	niv
265	478353.409	288985.399	696.099	niv
266	478349.585	288982.670	695.995	niv
267	478344.570	288981.704	696.041	niv
268	478339.495	288980.997	695.822	niv
269	478334.558	288979.904	695.724	niv
270	478324.752	288981.223	695.796	niv
271	478318.294	288980.989	696.117	niv
272	478313.008	288982.819	695.958	niv
273	478301.917	288989.297	695.641	niv
274	478298.665	288993.968	695.967	niv

275	478295.744	288991.847	693.714	niv
276	478299.496	288986.325	693.338	niv
277	478304.699	288983.237	693.371	niv
278	478309.398	288979.507	693.323	niv
279	478315.583	288976.166	693.322	niv
280	478291.333	288974.733	692.815	niv
281	478300.933	288966.985	692.741	niv
282	478288.873	288952.834	693.493	niv
283	478283.589	288944.504	694.670	niv
284	478295.130	288936.835	694.591	niv
285	478298.756	288933.260	694.423	niv
286	478301.061	288945.377	693.463	niv
287	478310.360	288941.724	692.960	niv
288	478300.958	288928.126	694.823	niv
289	478299.292	288923.137	695.373	niv
291	478303.774	288913.520	696.677	niv
292	478306.144	288915.209	696.134	niv
293	478309.829	288916.074	696.257	niv
294	478314.207	288918.029	696.019	niv
295	478309.137	288924.894	694.545	niv
296	478295.614	288926.977	697.606	niv

297	478292.453	288931.640	697.658	niv
298	478289.296	288934.788	697.553	niv
299	478285.948	288936.772	697.713	niv
300	478281.056	288940.017	697.985	niv
301	478274.291	288943.964	698.093	niv
303	478314.366	288916.308	698.697	niv
304	478319.590	288919.258	698.424	niv
305	478325.901	288917.903	697.739	niv
306	478329.669	288919.744	696.569	niv
307	478335.609	288920.671	696.377	niv
308	478339.535	288922.529	696.495	niv
309	478345.380	288919.994	697.370	niv
310	478353.282	288919.232	697.680	niv
311	478358.180	288917.617	696.276	niv
312	478365.844	288915.680	696.724	niv
313	478374.940	288913.934	697.531	niv
314	478378.838	288910.505	697.424	niv
315	478361.350	288907.545	698.448	niv
316	478350.863	288910.673	698.376	niv
317	478340.971	288912.022	698.543	niv
318	478333.995	288913.272	698.445	niv

319	478321.217	288912.488	698.224	niv
320	478328.657	288914.274	698.435	niv
321	478313.760	288911.824	698.075	niv
322	478306.013	288908.911	698.363	niv
323	478302.743	288907.832	698.009	niv
324	478304.499	288911.589	698.185	niv
325	478305.352	288913.506	698.178	niv
326	478302.686	288910.718	697.377	niv
327	478353.363	288983.550	692.866	niv
328	478299.789	288909.240	697.485	niv
329	478293.688	288921.544	697.614	niv
330	478292.253	288919.168	697.667	niv
331	478289.573	288916.773	697.615	niv
332	478288.851	288922.207	697.534	niv
333	478284.382	288927.553	697.666	niv
334	478280.894	288932.686	697.935	niv
335	478282.686	288918.677	697.518	niv
336	478284.067	288912.542	697.493	niv
337	478284.720	288906.562	697.939	niv
338	478284.981	288900.340	698.295	niv
339	478295.285	288897.558	698.468	niv

340	478291.509	288902.857	698.354	niv
341	478293.160	288913.968	696.929	niv
342	478299.676	288904.881	698.294	niv
343	478349.200	288904.604	698.255	niv

Tabla 3.3: Datos de puntos de nivel obtenidos con estación total. Fuente: (Grupo de Tesis, 2021).

3.4 Obtención de datos con técnicas GNSS.

Equipo utilizado:

1. Dos receptores GPS marca Carlson.
2. Colector de datos Marca Carlson con sistema operativo SurvCE.
3. Antena encargada de transmitir y recibir señales de radio entre equipos receptores.
4. Cable de comunicación entre equipo receptor y colector de datos.
5. Soporte para antena.
6. Base nivelante.
7. Acople de rosca para fijar el receptor a la base nivelante.
8. Cinta métrica.
9. Cable de carga del receptor.
10. Batería externa portátil.
11. Bastón extensible.

3.4.1 Metodología para la recolección de datos con técnicas GNSS.

Para realizar la captura de insumos para generar el modelo digital del terreno utilizando técnicas GNSS, se pretende levantar los puntos que ya habían sido monumentados y que se levantaron con Estación Total anteriormente.

Utilizamos 2 equipos receptores de la marca Carlson, un modelo se usará como base en un punto fijo (FIA1) de coordenadas conocidas, y el otro equipo se va a configurar para que trabaje como un Rover (equipo móvil) para realizar la captura de los puntos previamente monumentados, este método se le conoce como Método Cinemático en Tiempo Real o (RTK).

3.4.2 Guía básica para el uso de los equipos GNSS utilizando la técnica RTK.

Paso 1: Armado del equipo, Base y Rover.

La primera etapa consiste en armar el equipo que se usará de base, en nuestra investigación usamos de referencia un punto de coordenadas conocidas llamado "FIA1" para centrar nuestro equipo base.

El primer paso es colocar la antena al equipo a través de un accesorio especial, ver Figura 3.50 y 3.51 respectivamente; el centrado se realiza de la misma manera que una estación total, hay que recalcar, que se debe dejar a una altura adecuada para que tenga una mejor recepción de satélites, si es posible, una altura superior a nuestro rostro; para proyectos de mayor precisión se recomienda utilizar un bastón para darle mayor elevación al equipo; posteriormente se procede a colocar las baterías previamente cargadas al

equipo, en nuestro caso, utilizamos una batería externa para darle corriente permanente al equipo, ver Figuras 3.52 y 3.53 respectivamente. Para realizar la conexión de la batería externa se debe tener cuidado en la conexión correcta de los polos, debemos guiarnos por el color de cada polo; de igual forma, para conectar el cable que lleva la corriente al equipo, se debe tener mucho cuidado, para este caso, se debe de usar de referencia un punto rojo que tiene el equipo y el cable, donde estos se unen, en esa zona se debe hacer la inserción del cable. Al conectar la batería externa al equipo, automáticamente nos muestra una luz roja que nos indica que ya está listo para ponerlo en marcha.



Figura 3.50: Enroscado de cable de antena a equipo. Fuente: (Ramírez 2021).



Figura 3.51: Enroscado de antena a dispositivo. Fuente: (Ramírez 2021).



Figura 3.52: Colocado de batería externa al equipo. Fuente: (Ramírez 2021).



Figura 3.53: Colocado de cable de alimentación al equipo. Fuente: (Ramírez 2021).

Para armar el Rover (Equipo Móvil), se debe utilizar el mismo procedimiento descrito anteriormente para colocar la antena; con la única diferencia, que éste, se deberá instalar sobre un bastón con nivel de burbuja, y su fuente de alimentación se hará a través de las baterías internas del propio equipo, ver Figura 3.54.

Al equipo, debe dársele una altura adecuada para tener una mejor recepción de satélites, aunque cuando se necesite de mayores precisiones, se recomienda utilizar un trípode para fijar el bastón.



Figura 3.54: Rover armado en bastón con burbuja. Fuente: (Grupo de Tesis, 2021).

Paso 2: Configuración del sistema de proyección local.

Ingresamos al software SurvCE del colector y seleccionamos la opción de “Localización”, ver Figura 3.55.

Luego nos ubicamos en el apartado de “Sistema” y debemos ingresar en la parte de abajo haciendo click sobre “Editar lista proyecciones”; como estamos utilizando nuestro sistema local, ingresamos el nombre de este tal como se muestra, ver Figura 3.56.



Figura 3.55: Ingreso a Localización.
Fuente: (Ramírez 2021).



Figura 3.56: Nombre de proyección.
Fuente: (Ramírez 2021).

A continuación, se procede a ingresar todos los parámetros que definen nuestro Sistema de Referencia Local (LAMBERT SIRGAS ESA-2007) y vamos dando aceptar, ver Figura 3.57.

Editar/Ver Sistema

Sistema: SIRGAS-ES2007

Proyección: Lambert Conformal Conic

Datum: LAMBERT SIRGAS-ES2007

Editar/Ver Datum Definido Usuario

Paralelo N: 14.25096600

Paralelo S: 13.31763267

Meridiano C.: -88.99998297

Lat. del Origen: 13.78429934

Falso Norte: 295809.184 m

Falso Este: 500000 m

Definir coordenadas

Nombre: LAMBERT SIRGAS-ES2007

Elipsoide: WGS84~1

a: 6378137 m

1/f: 298.257223562776

F.Escala (ppm): 0

dX: 0 m rot X: 0"

dY: 0 m rot Y: 0"

dZ: 0 m rot Z: 0"

Fichero GSF respecto a WGS84

Figura 3.57: Ingreso de parámetros de Sistema de Referencia Local. Fuente: (Ramírez 2021).

Luego se verifica que todos los parámetros estén correctos y se hace click sobre el botón verde en la parte derecha superior; al dar click en aceptar nos aparece creado el sistema de referencia local y procedemos a seleccionarlo, luego damos click en aceptar en el botón verde superior, ver Figura 3.58.

Editar/Ver Sistema

Sistema: SIRGAS-ES2007

Proyección: Lambert Conformal Conic

Datum: LAMBERT SIRGAS-ES2007

Editar/Ver Datum Definido Usuario

Paralelo N: 14.25096600

Paralelo S: 13.31763267

Meridiano C.: -88.99998297

Lat. del Origen: 13.78429934

Falso Norte: 295809.184 m

Falso Este: 500000 m

Coordenadas Proyección

Nombre	Fue...
SV	Usuario
USA/NAD83/KY North	Carlson
SIRGAS-ES2007	Usuario

Borrar Añad. Predefinida

Edita Añad. Defind. p/Usuario

Figura 3.58: ingresos de parámetros y selección de sistema creado. Fuente: (Ramírez 2021).

Paso 3: Configuración del equipo Base y Rover para iniciar el levantamiento.

Configuración del equipo Base:

El primer paso es activar el bluetooth en el colector, luego debemos crear un nuevo trabajo haciendo click en “Trabajo nuevo/Existente”, ver Figura 3.59. Para realizar este paso, ya debemos tener el equipo receptor encendido, para encender los equipos utilizados en esta investigación (Receptores Carlson), basta con mantener pulsado el botón de encendido por 5 segundos, para el apagado se hace el mismo procedimiento.



Figura 3.59: Activar Bluetooth y crear nuevo trabajo. Fuente: (Ramírez 2021).

Ingresamos el nombre de nuestro nuevo trabajo (RTK), luego, nos muestra una pantalla en donde debemos elegir el sistema de medida y la proyección a utilizar, hay que recordar que debemos utilizar la proyección creada previamente (LAMBERT SIRGAS ESA-2007), ver Figura 3.60.

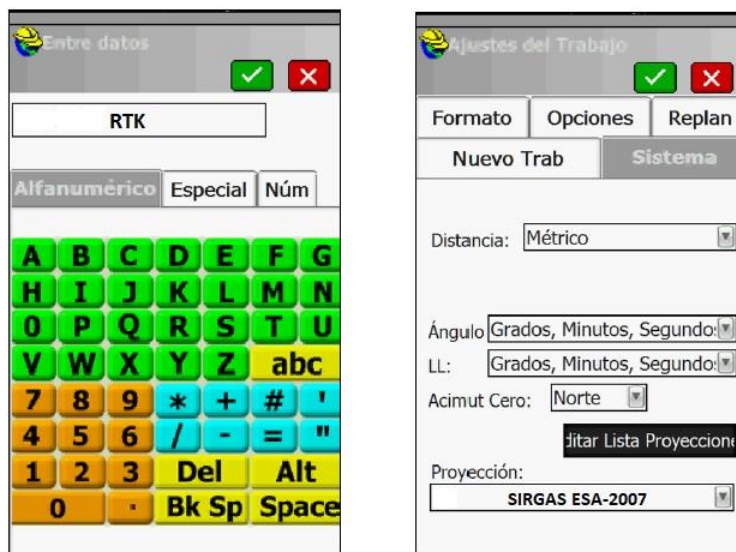


Figura 3.60: Nombre de proyección y sistema de unidades. Fuente: (Ramírez 2021).

Para empezar a configurar la Base, debemos ingresar al apartado 2 en “Base GNSS”, al hacer click nos dirige a una pantalla en donde debemos realizar la configuración de todos los parámetros, se elige la marca de nuestro Receptor y el modelo, para nuestro caso (Carlson), ver Figura 3.61.

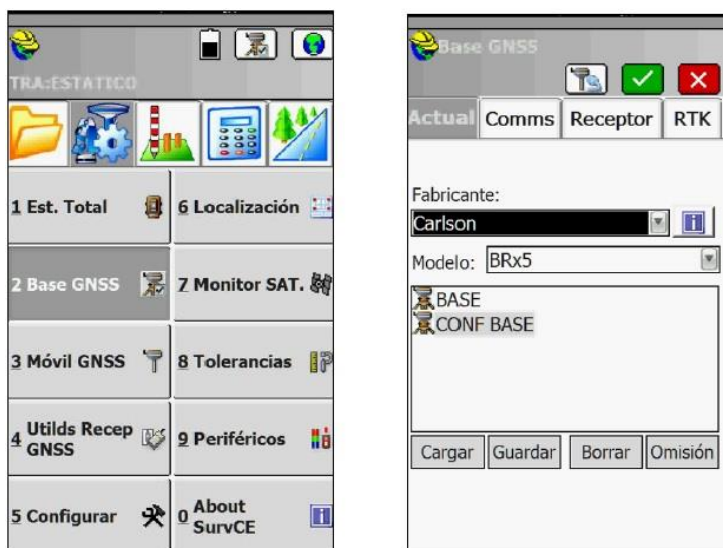


Figura 3.61: Configuración de Base y selección del tipo de equipo. Fuente: (Ramírez 2021).

A continuación, debemos dar click en “Comms” en este apartado realizaremos la configuración de la conexión entre el equipo Receptor y el Colector. Como realizaremos una conexión inalámbrica, debemos desplegar en tipo y elegir “Bluetooth”, luego, si no tenemos registrado en nuestro Colector el dispositivo bluetooth del equipo Receptor, debemos dar click sobre el icono de la llave y el martillo que se encuentra a la derecha del apartado “BT Tipo”; al dar click sobre dicho icono, nos dirige a la pantalla en donde debemos realizar la búsqueda del dispositivo bluetooth del equipo Base, ver Figura 3.62.

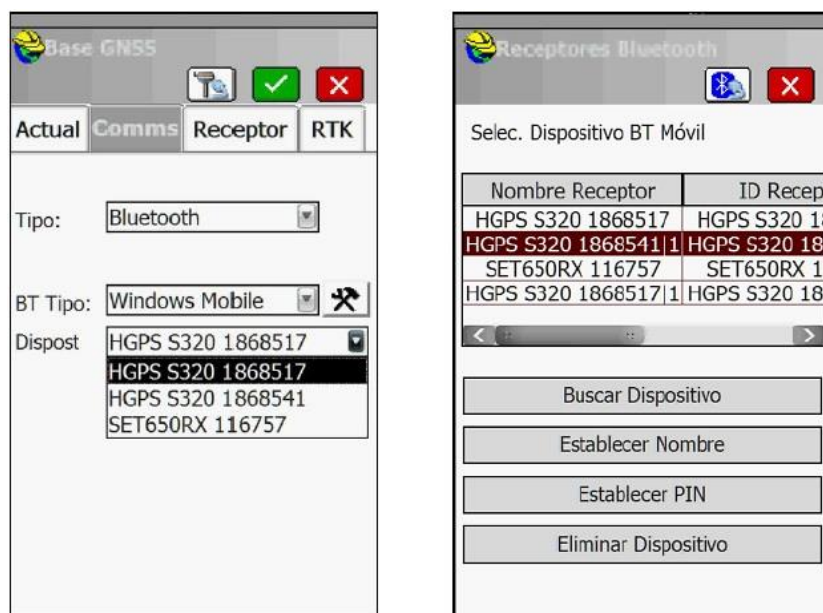


Figura 3.62: Configuración de la conexión. Fuente: (Ramírez 2021).

Cuándo realizamos la búsqueda del dispositivo en “Buscar Dispositivo”, nos aparecen los dispositivos que detecta el colector (cuándo se realiza la búsqueda, automáticamente el Receptor enciende una luz azul que indica que el bluetooth esta encendido); para reconocer el modelo de nuestro equipo y conectarnos

correctamente, debemos verificar en la parte inferior del receptor el número de serie y compararlo con la búsqueda del colector, cuando estemos seguros, lo seleccionamos y damos en aceptar en el botón verde superior; posteriormente nos envía a la pantalla en donde debemos seleccionar el tipo de puerto, para nuestro caso seleccionamos “Cualquier puerto” y damos en aceptar en el botón verde, ver Figura 3.63.

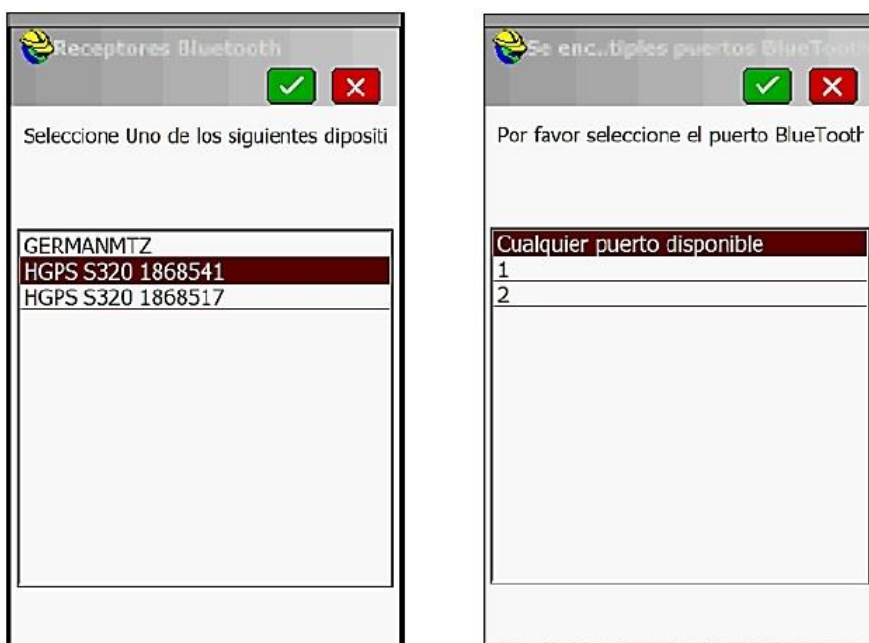


Figura 3.63: Selección del equipo a conectar y tipo de puerto. Fuente: (Ramírez 2021).

Después de haber realizado el enlace o conexión entre el equipo Receptor y el Colector, debemos ingresar al apartado de “Receptor”, ver Figura 3.64, en esta pantalla tenemos que ingresar datos como la altura de antena, esta puede ser vertical o inclinada, para nuestro caso elegimos inclinada y esta se mide desde la superficie del punto fijo (FIA1), hasta el borde superior del Receptor, ver Figura

3.65. Para el caso de la máscara de elevación, esta se deja en 15°; los demás apartados se dejan como se muestra, ver Figura 3.64. El paso siguiente es ingresar al apartado de “RTK”.

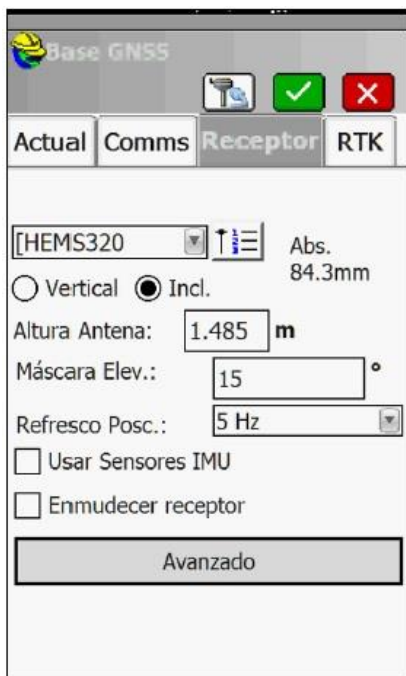


Figura 3.64: Ingreso de altura de antena y máscara. Fuente: (Ramírez 2021).



Figura 3.65: Medición de altura de antena. Fuente: (Grupo de Tesis, 2021).

En la pestaña “RTK”, se selecciona el tipo de antena a utilizar en la medición y luego damos click en aceptar. Después de aceptar, nos muestra la pantalla en donde debemos ingresar las coordenadas conocidas de nuestro punto (FIA1), para esto, debemos de ingresar al apartado de “Teclear Lat/Lon”, ver Figura 3.66.

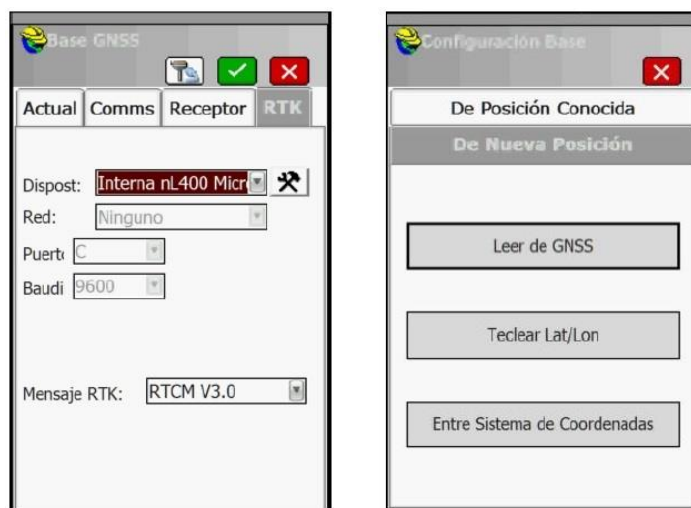


Figura 3.66: Selección del tipo de antena y tecla de ingreso de coordenadas. Fuente: (Ramírez 2021).

Debemos ingresar nuestras coordenadas en el formato geográfico (gg.mm.ss), y la elevación debe ser elipsoidal en unidades de metros, damos en aceptar y nos dirige a la pantalla en donde debemos darle el nombre a nuestro punto fijo y una descripción, agregamos los datos y se nos pregunta si deseamos “continuar con el Arranque de base”, damos click en “Si”, ver Figura 3.67.

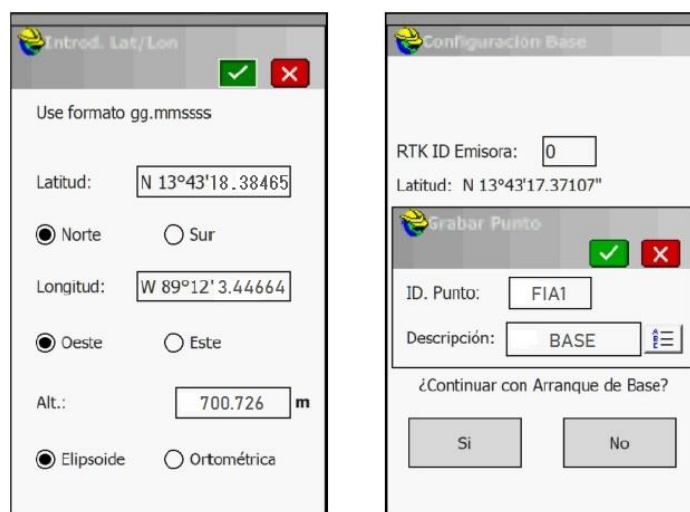


Figura 3.67: Ingreso de coordenadas de punto fijo, nombre y descripción. Fuente: (Ramírez 2021).

Al dar click en “Si” el equipo Base queda configurado y listo para trabajar, luego de esta etapa, debemos configurar el Rover para iniciar nuestro levantamiento.

Configuración del Rover e inicio del levantamiento.

Para iniciar la configuración del Rover, debemos ingresar a la sección número 3 “Móvil GNSS”, ver Figura 3.68.



Figura 3.68: Ingreso a sección 3 (Rover). Fuente: (Ramírez 2021).

Al ingresar en “Móvil GNSS”, nos muestra la pantalla en donde realizaremos la configuración de la conexión y el ingreso de la altura del aparato como se hizo en la configuración de la Base, con la diferencia, que la altura del Rover debe medirse de forma vertical, desde la punta del bastón, hasta la parte inferior del Receptor (Carlson), ver Figura 3.69.

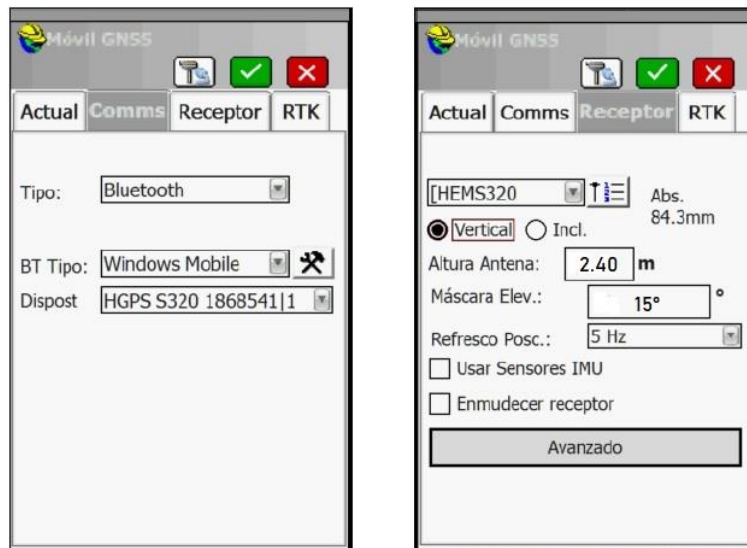


Figura 3.69: Configuración de conexión del Rover ingreso de altura de equipo y máscara. Fuente:

(Ramírez 2021).

Posteriormente, procedemos a elegir el tipo de antena como se hizo anteriormente en la configuración de la Base y damos en aceptar, ver Figura 3.70. Para iniciar el levantamiento nos dirigimos al apartado 1 “Levantamiento”.

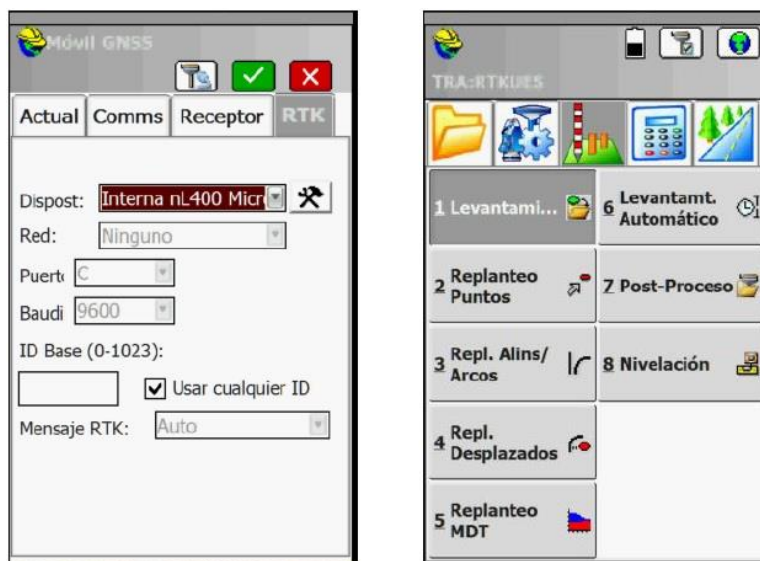


Figura 3.70: Selección del tipo de antena e inicio de levantamiento. Fuente: (Ramírez 2021).

Al dar click en levantamiento, en la pantalla siguiente, se observa la estación de referencia, las coordenadas planas del punto donde se encuentra el Rover y parámetros de precisión vertical y horizontal (Vemc y Henc respectivamente), ver Figura 3.71.

Debemos de tener claro que, para medir un punto, en la esquina superior izquierda debe marcar "Fijo", si no está en fijo, no se puede hacer la captura del punto, si está en fijo, basta con hacer click sobre el icono superior que se señala con la flecha roja y nos dirige a la pantalla en donde debemos ingresar el nombre de nuestro punto, luego damos en aceptar para almacenar el punto. Este procedimiento de captura y almacenamiento deberá repetirse hasta levantar todos los puntos deseados.

Otro aspecto a tener en cuenta es el rango de "PDOP" permitido, se recomienda que este valor no debe exceder de 6, el "GDOP" depende del "PDOP". Para el caso de la precisión vertical y horizontal "Henc" y "Vemc", ambos valores se recomiendan que se mantengan en milímetros a la hora de medir nuestro punto, ver Figura 3.71.

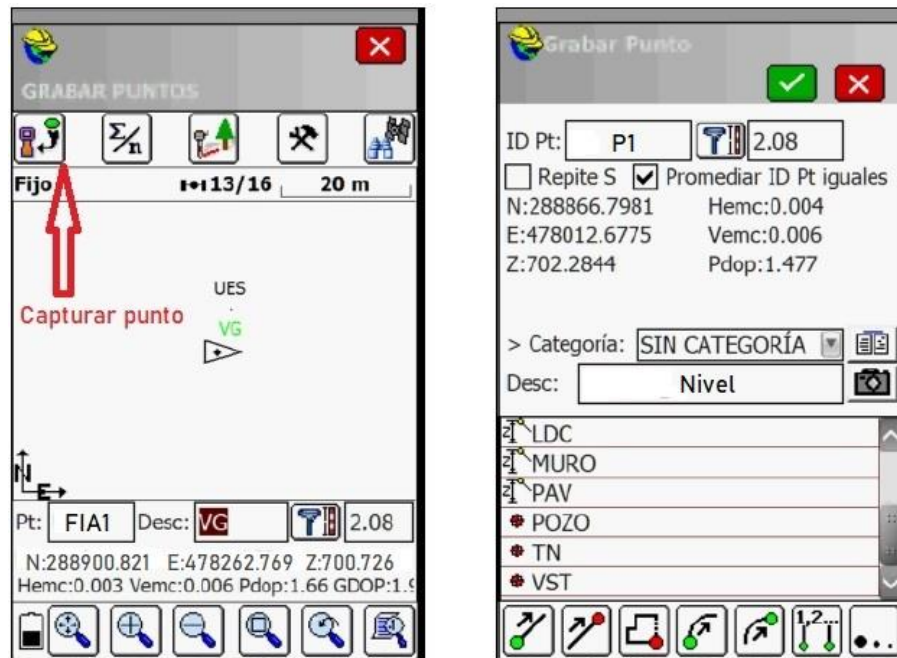


Figura 3.71: Captura de punto y almacenamiento. Fuente: (Ramírez 2021).

Nota: Cuando no se tenga recepción de satélites, que generalmente es donde hay muchos arboles u otros obstáculos grandes, el Rover enciende una luz roja indicando que no existe CORRECCIÓN DIFERENCIAL.

Paso 4: Importar los datos.

Para la descarga de datos del levantamiento debe conectarse mediante cable USB a una computadora. Posteriormente seleccionar la opción 7 “Import. Export” del menú principal 1, luego, hacemos click en la opción “Exportar fich. ASCII”, ver Figura 3.72.



Figura 3.72: Sección 7 y exportación de fichero levantado. Fuente: (Ramírez 2021).

En la pantalla siguiente, se debe elegir el tipo de fichero, el separador, el orden en que aparecerán los datos y el rango de puntos a exportar. Finalmente, click en Aceptar, ver Figura 3.73.

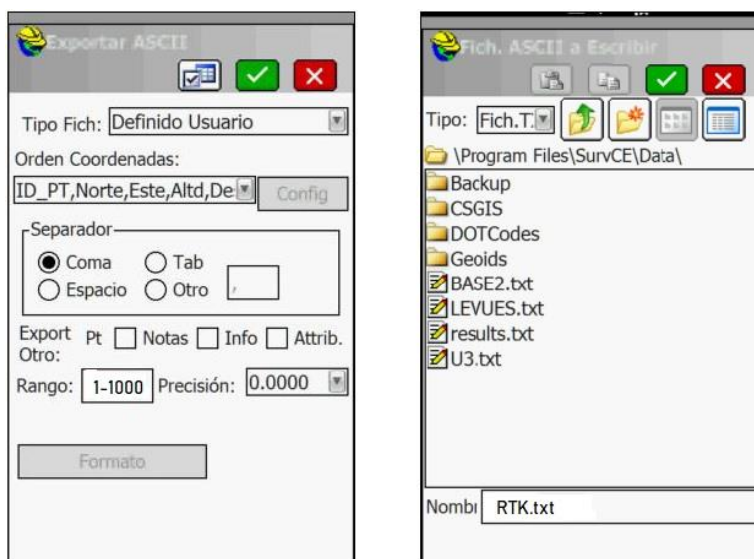


Figura 3.73: Formato de datos y asignación de nombre a nuestro archivo de exportación. Fuente: (Ramírez 2021).

3.4.3 Datos obtenidos con técnica RTK.

Los resultados obtenidos se presentarán en tres agrupaciones de datos en función a las coordenadas de los puntos numerados de la siguiente manera: del 1 al 10 para la Poligonal de amarre, del 50 al 87 para el Perímetro del terreno y del 100 en adelante para los puntos de Nivel.

Resultados obtenidos con técnica RTK para la Poligonal Base:

N. PUNTO	X	Y	Z	DESCRIPCIÓN
1	478262.769	288900.821	699.209	PLG
2	478297.831	288903.407	698.270	PLG
3	478304.104	288991.049	695.891	PLG
4	478372.264	288999.366	694.688	PLG
5	478421.885	288969.638	692.454	PLG
6	478417.021	288910.997	691.872	PLG
7	478392.639	288885.420	698.423	PLG
8	478346.826	288911.040	698.296	PLG
9	478299.030	288899.739	698.293	PLG
10	478262.793	288900.853	699.225	PLG

Tabla 3.4: Datos de Poligonal de amarre técnica RTK. Fuente: (Grupo de Tesis, 2021).

Resultados obtenidos con técnica RTK para perímetro del terreno

50	478280.523	288912.169	698.654	LINDERO
51	478280.562	288916.010	698.827	LINDERO
52	478280.381	288925.536	697.780	LINDERO
53	478277.896	288933.552	698.146	LINDERO
54	478282.346	288939.389	697.896	LINDERO
55	478282.466	288945.587	694.592	LINDERO
56	478277.883	288933.539	698.112	LINDERO
57	478281.936	288967.485	692.915	LINDERO
58	478286.616	288980.215	692.807	LINDERO
59	478291.957	288989.729	693.336	LINDERO
60	478296.616	288996.279	696.248	LINDERO
61	478300.580	289001.292	695.822	LINDERO
62	478302.559	289016.757	696.269	LINDERO
63	478321.049	289015.486	696.047	LINDERO
64	478338.258	289014.364	696.130	LINDERO
65	478357.883	289013.406	696.328	LINDERO
66	478374.124	289011.989	696.286	LINDERO
67	478385.577	289009.649	695.740	LINDERO
68	478398.344	289003.598	695.289	LINDERO
69	478404.464	288999.601	695.010	LINDERO
70	478412.526	288992.134	694.574	LINDERO

71	478417.424	288985.922	694.306	LINDERO
72	478423.292	288975.804	693.902	LINDERO
73	478426.906	288965.252	693.498	LINDERO
74	478428.682	288954.569	693.104	LINDERO
75	478428.198	288942.530	692.471	LINDERO
76	478425.451	288929.848	692.022	LINDERO
77	478421.017	288912.348	691.677	LINDERO
78	478418.641	288909.279	691.827	LINDERO
79	478407.809	288897.787	692.964	LINDERO
80	478394.340	288883.762	698.532	LINDERO
81	478371.069	288902.851	698.300	LINDERO
82	478355.757	288901.088	698.361	LINDERO
83	478338.501	288904.025	698.132	LINDERO
84	478333.041	288906.437	698.139	LINDERO
85	478316.074	288903.894	698.234	LINDERO
86	478305.087	288898.840	698.349	LINDERO
87	478279.730	288891.827	698.392	LINDERO

Tabla 3.5: Datos de Lindero por medio de técnica RTK. Fuente: (Grupo de Tesis, 2021).

Resultados obtenidos con técnica RTK para puntos de nivel en el terreno

100	478391.615	288886.633	698.411	NIVEL
101	478389.995	288888.627	698.366	NIVEL

102	478388.444	288890.612	698.307	NIVEL
103	478386.661	288892.657	698.244	NIV
104	478385.312	288894.869	697.979	NIV
105	478381.194	288896.836	698.098	NIVEL
106	478375.552	288900.779	698.317	NIVEL
107	478378.939	288903.562	698.073	NIVEL
108	478380.979	288901.733	697.988	NIVEL
109	478383.516	288899.442	697.812	NIV
110	478385.622	288897.768	697.675	NIVEL
111	478387.544	288896.239	697.625	NIV
112	478388.881	288894.551	697.608	NIVEL
113	478393.452	288887.826	697.871	NIVEL
114	478396.539	288886.816	697.221	NIV
115	478395.052	288888.791	697.131	NIVEL
116	478393.490	288891.313	697.121	NIVEL
117	478392.071	288893.205	697.148	NIVEL
118	478390.195	288896.278	697.147	NIVEL
119	478388.100	288899.538	697.136	NIVEL
120	478385.458	288901.389	697.488	NIVEL
121	478383.643	288903.930	697.561	NIV
122	478380.207	288906.394	697.950	NIVEL

123	478383.130	288908.464	696.457	NIVEL
124	478385.536	288905.447	696.676	NIVEL
125	478387.968	288903.023	696.408	NIVEL
126	478389.901	288901.039	696.168	NIVEL
127	478383.600	288909.555	695.728	NIVEL
128	478388.062	288908.045	694.820	NIVEL
130	478386.253	288913.356	692.499	NIVEL
131	478390.497	288911.103	692.424	NIVEL
132	478393.575	288909.026	692.395	NIVEL
133	478396.217	288905.412	692.630	NIV
134	478400.333	288902.206	692.587	NIV
135	478390.188	288905.030	695.082	NIV
136	478392.652	288902.267	694.899	NIV
137	478396.000	288897.917	694.890	NIV
140	478402.789	288891.007	694.113	NIVEL
141	478404.697	288895.062	693.435	NIVEL
142	478409.458	288900.785	692.457	NIVEL
143	478406.575	288905.179	692.325	NIVEL
144	478401.134	288908.854	692.196	NIVEL
145	478394.408	288913.995	692.117	NIVEL
146	478384.290	288919.652	692.315	NIVEL

147	478390.626	288935.309	691.775	NIVEL
152	478412.597	288911.062	691.974	NIVEL
153	478421.419	288932.721	691.953	NIVEL
154	478410.174	288938.122	691.897	NIVEL
155	478394.866	288944.965	691.820	NIVEL
156	478399.154	288962.470	692.069	NIVEL
157	478413.632	288960.166	692.250	NIVEL
158	478424.359	288960.577	692.327	NIVEL
159	478419.735	288974.021	692.577	NIVEL
160	478410.077	288974.217	692.531	NIVEL
161	478398.910	288975.687	692.565	NIVEL
162	478398.295	288984.426	693.191	NIVEL
163	478410.392	288979.545	692.922	NIVEL
164	478418.406	288978.314	692.784	NIVEL
166	478410.923	288986.933	693.634	NIVEL
167	478414.695	288984.809	693.412	NIVEL
168	478419.146	288980.991	693.389	NIVEL
172	478420.831	288975.861	692.965	NIVEL
173	478423.009	288971.729	692.751	NIV
174	478423.792	288972.159	693.646	NIV
175	478422.357	288976.719	693.506	NIV

176	478420.415	288979.679	694.141	NIVEL
177	478419.819	288981.541	694.158	NIV
178	478418.416	288983.907	694.186	NIV
179	478415.877	288986.341	694.331	NIVEL
180	478412.541	288988.577	694.932	NIV
181	478413.387	288988.686	694.349	NIV
182	478409.899	288990.288	694.998	NIV
183	478408.563	288993.225	694.914	NIV
184	478409.613	288994.620	694.728	NIV
185	478407.091	288992.061	693.530	NIV
186	478404.117	288993.201	693.402	NIV
187	478406.581	288996.045	694.700	NIV
188	478401.859	288999.301	694.640	NIV
189	478399.597	288996.933	696.016	NIVEL
190	478392.690	288998.315	695.613	NIV
191	478392.868	289003.979	695.706	NIV
192	478389.318	288998.026	696.134	NIV
193	478386.077	288999.492	695.833	NIV
194	478383.280	288998.681	696.029	NIV
195	478386.906	289005.240	696.041	NIV
196	478384.465	289003.823	695.903	NIV

197	478382.294	289008.558	695.963	NIV
198	478378.025	289009.553	695.922	NIV
199	478373.627	289010.478	696.446	NIV
200	478369.359	289011.039	696.069	NIV
201	478363.202	289011.740	695.706	NIV
202	478368.679	289008.917	695.204	NIV
203	478374.655	289008.327	695.052	NIV
204	478381.093	289006.869	694.979	NIV
205	478381.948	289004.221	694.895	NIV
206	478382.168	288997.985	694.109	NIV
207	478389.217	288996.340	693.849	NIVEL
208	478397.967	288995.549	693.740	NIVEL
209	478388.353	288987.636	693.398	NIVEL
210	478376.634	288991.342	693.908	NIV
211	478362.466	288994.727	694.866	NIV
212	478359.136	288980.031	692.252	NIVEL
214	478371.750	288979.655	692.206	NIV
215	478378.604	288979.478	692.260	NIVEL
216	478383.995	288978.647	692.158	NIVEL
217	478389.789	288977.558	692.227	NIVEL
218	478395.237	288975.283	692.411	NIV

219	478384.272	288983.141	693.014	NIV
220	478378.363	288986.042	693.375	NIV
221	478372.724	288987.093	693.532	NIVEL
222	478366.228	288987.239	693.658	NIVEL
223	478356.888	288988.755	694.391	NIV
227	478379.868	288950.161	691.771	NIVEL
228	478360.637	288953.801	691.819	NIVEL
229	478341.216	288955.910	692.186	NIVEL
232	478308.992	288960.313	692.650	NIVEL
233	478293.892	288962.126	692.941	NIVEL
236	478341.256	288976.205	692.518	NIVEL
237	478348.091	288980.129	692.635	NIV
238	478359.089	288938.378	692.297	NIVEL
239	478356.633	288921.065	694.115	NIVEL
240	478388.100	288927.903	691.948	NIVEL
241	478378.080	288931.264	692.058	NIVEL
242	478368.871	288934.007	692.327	NIVEL
243	478362.675	288919.352	693.870	NIVEL
244	478373.004	288918.416	693.294	NIVEL
245	478380.235	288916.023	693.042	NIVEL
246	478347.810	288921.997	694.334	NIVEL

248	478335.723	288922.391	694.519	NIVEL
249	478318.908	288922.217	695.072	NIVEL
251	478319.017	288939.027	692.782	NIV
252	478331.823	288941.368	692.239	NIV
253	478343.639	288939.318	692.170	NIVEL
255	478353.983	288994.086	695.357	
256	478336.324	288993.320	695.632	NIVEL
257	478319.841	288993.719	695.670	NIVEL
258	478302.331	288997.652	695.827	NIVEL
259	478303.262	289013.979	695.844	NIVEL
260	478323.673	289011.835	695.800	NIV
261	478337.174	289011.529	696.062	NIV
262	478354.659	289010.547	695.989	NIV
263	478352.147	288989.967	696.073	NIV
264	478356.572	288987.340	695.840	NIV
265	478353.433	288985.413	696.112	NIV
266	478349.623	288982.662	695.898	NIVEL
267	478344.639	288981.657	696.027	NIVEL
268	478339.521	288981.026	695.839	NIVEL
269	478334.582	288979.932	695.740	NIV
270	478324.777	288981.241	695.812	NIV

271	478318.318	288981.020	696.129	NIV
272	478313.033	288982.847	695.976	NIV
273	478301.943	288989.332	695.657	NIV
274	478298.707	288993.994	695.977	NIV
275	478295.790	288991.809	693.677	NIVEL
276	478299.555	288986.276	693.308	NIVEL
277	478304.753	288983.191	693.365	NIVEL
278	478309.442	288979.463	693.329	NIVEL
279	478315.628	288976.196	693.333	NIV
280	478291.380	288974.754	692.839	NIV
281	478300.958	288967.006	692.777	NIV
282	478288.910	288952.822	693.488	NIVEL
283	478283.609	288944.509	694.660	NIVEL
284	478295.159	288936.826	694.581	NIVEL
285	478298.774	288933.257	694.397	NIVEL
286	478301.074	288945.377	693.464	NIVEL
287	478310.385	288941.742	692.983	NIV
288	478300.982	288928.123	694.807	NIVEL
289	478299.291	288923.122	695.351	NIVEL
291	478303.756	288913.535	696.639	NIVEL
292	478306.159	288915.212	696.154	NIV

293	478309.844	288916.080	696.276	NIV
294	478314.231	288918.061	696.036	NIV
295	478309.151	288924.898	694.541	NIVEL
296	478295.587	288927.003	697.563	NIVEL
297	478292.483	288931.648	697.674	NIVEL
298	478289.313	288934.798	697.568	NIVEL
299	478285.987	288936.835	697.714	NIVEL
300	478281.100	288940.052	697.936	NIVEL
301	478274.319	288943.992	698.113	NIV
303	478314.390	288916.326	698.712	NIV
304	478319.616	288919.271	698.436	NIV
305	478325.931	288917.935	697.753	NIV
306	478329.697	288919.778	696.583	NIV
307	478335.641	288920.696	696.385	NIV
308	478339.554	288922.553	696.523	NIV
309	478345.402	288920.008	697.387	NIV
310	478353.307	288919.249	697.710	NIV
311	478358.209	288917.635	696.284	NIV
312	478365.874	288915.695	696.741	NIV
313	478374.962	288913.946	697.550	NIV
314	478378.883	288910.515	697.444	NIV

315	478361.379	288907.577	698.468	NIV
316	478350.875	288910.657	698.395	NIVEL
317	478340.976	288912.013	698.548	NIVEL
318	478333.967	288913.287	698.489	NIVEL
319	478321.237	288912.520	698.240	NIV
320	478328.667	288914.274	698.377	NIVEL
321	478313.782	288911.844	698.095	NIV
322	478306.037	288908.945	698.386	NIV
323	478302.704	288907.800	697.962	NIVEL
324	478304.530	288911.615	698.204	NIVEL
325	478305.369	288913.450	698.111	NIVEL
326	478302.657	288910.750	697.398	NIVEL
327	478353.387	288983.573	692.881	NIV
328	478299.775	288909.241	697.497	NIVEL
329	478293.746	288921.555	697.610	NIVEL
330	478292.237	288919.172	697.683	NIVEL
331	478289.539	288916.755	697.642	NIVEL
332	478288.840	288922.237	697.540	NIVEL
333	478284.408	288927.548	697.688	NIVEL
334	478280.862	288932.686	697.943	NIVEL
335	478282.698	288918.658	697.537	NIVEL

336	478284.051	288912.538	697.512	NIVEL
337	478284.702	288906.538	697.973	NIVEL
338	478284.970	288900.329	698.310	NIVEL
339	478295.284	288897.542	698.467	NIVEL
340	478291.509	288902.856	698.364	NIVEL
341	478293.165	288913.970	696.944	NIVEL
342	478299.662	288904.882	698.305	NIVEL
343	478349.171	288904.629	698.237	NIVEL

Tabla 3.6: Datos de nivel por medio de técnica RTK. Fuente: (Grupo de Tesis, 2021).

CAPÍTULO IV: PROCESAMIENTO DE DATOS DE CAMPO

4.1 Software de procesamiento de datos de campo.

Antes de pasar al procesamiento de los datos obtenidos en campo con equipo GNSS y Estación Total se da una introducción a Surfer, éste, es el software que se utilizará para realizar los MDT.

Surfer.

Esta herramienta se utiliza en la creación de curvas de nivel, grillas, y mapas 3D para Científicos e Ingenieros.

Surfer es un software completo para la visualización en 3D, la creación de isolíneas, y el modelado de superficies que se ejecuta bajo Microsoft Windows. Surfer se utiliza ampliamente para el modelamiento 3D de terrenos, modelamiento batimétrico, la visualización del paisaje, análisis de superficies, cartografía de curvas de nivel, la cartografía de superficie 3D, grillado, la volumetría, y mucho más.

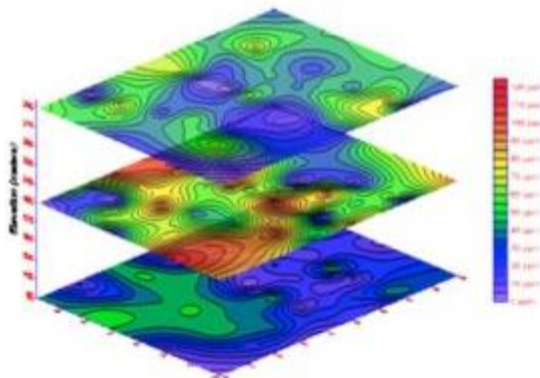


Figura 4.1.: Superposición de mapas en Surfer. Fuente: Manual de Surfer,

<https://es.scribd.com/document/262305017/Manual-de-Surfer>

El sofisticado motor de la interpolación de Surfer transforma los datos XYZ en mapas con calidad de publicación. Surfer ofrece más métodos de grillado y más control sobre los parámetros de grillado, incluyendo variogramas⁵ personalizados que reflejan la distancia máxima y la forma en que un punto tiene influencia sobre otro punto a diferentes distancias, que cualquier otro paquete de software en el mercado. También puede utilizar los archivos de la red procedentes de otras fuentes, tales como archivos USGS DEM o archivos ESRI GRID. Muestra tu grilla como mapas topográficos, mapas de pendientes en 3D, 3D *wireframe*, vector, imagen, relieves y sombreados, y los mapas de puntos. Añade mapas de base y combina distintos tipos de mapas para crear la presentación más informativa posible. Prácticamente todos los aspectos de los mapas se pueden personalizar para producir exactamente la presentación que desea. La generación de mapas de calidad de publicación nunca ha sido más rápida o más fácil.

⁵ Variograma: o semivariograma es una herramienta que permite analizar el comportamiento espacial de una variable sobre un área definida, obteniendo como resultado un variograma experimental que refleja la distancia máxima y la forma en que un punto tiene influencia sobre otro punto a diferentes distancias.

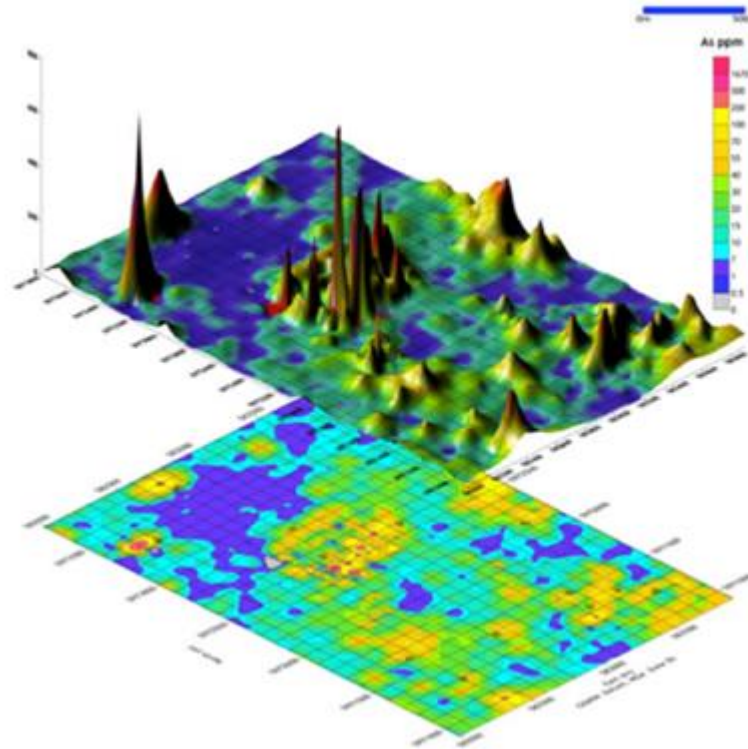


Figura 4.2: Mapas generados con Surfer. Fuente: Manual de Surfer,

<https://es.scribd.com/document/262305017/Manual-de-Surfer>

Surfer es ideal para hidrólogos, ingenieros, geólogos, arqueólogos, oceanógrafos, biólogos, ingenieros forestales, geofísicos, investigadores médicos, climatólogos etc. Posee los siguientes algoritmos de interpolación: Inverse Distance, Kriging, Minimum Curvature, Polynomial Regression, Triangulation, Nearest Neighbor, Shepard's Method, Radial Basis Functions, Natural Neighbor, Moving Average, y Local Polynomial.

Descubra en profundidad los patrones en sus datos con las numerosas herramientas de análisis de Surfer. Ajuste los parámetros de interpolación y

cuadrícula, evalúe la continuidad espacial de los datos con variogramas, defina fallas y líneas de ruptura (breaklines), o realice cálculos de cuadrícula como volúmenes, transformaciones, suavizado o filtrado. Surfer rápidamente transforma todos sus datos en conocimiento.

4.2 Elaboración de un MDT con Surfer.

Paso 1: Iniciamos el programa y aparece la siguiente interfaz, seleccionamos en New Plot.

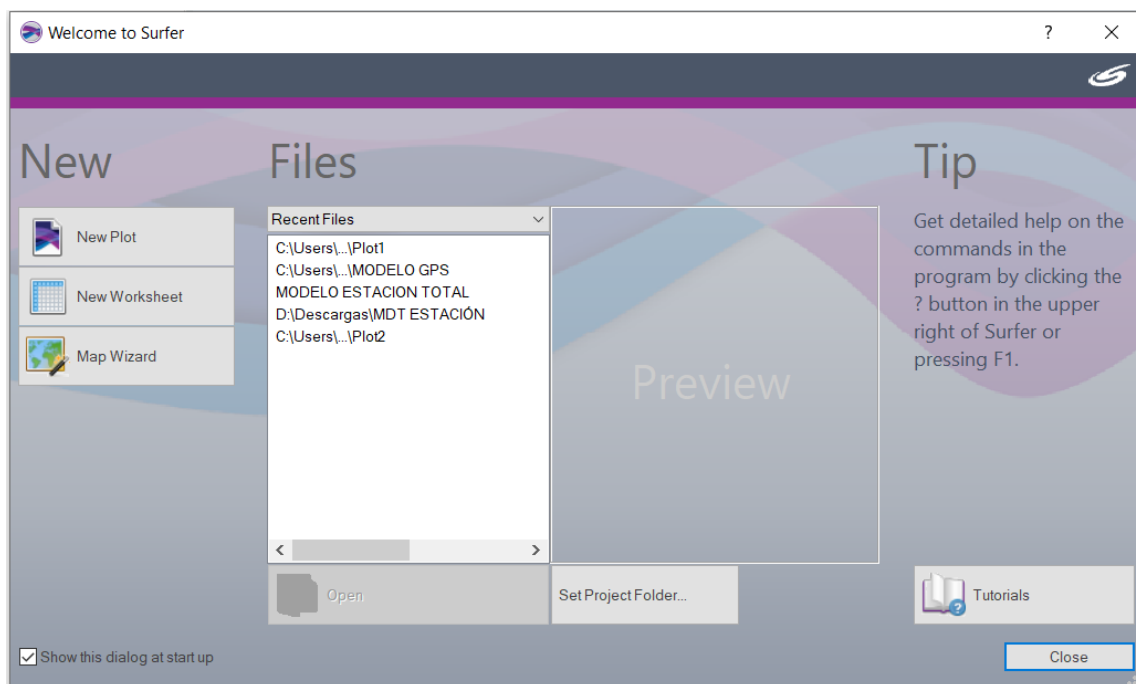


Figura 4.3: Interfaz de inicio de Surfer. Fuente: (N. López,2021).

Paso 2: Esta es la pantalla principal de Surfer. Aparece una hoja en blanco donde posteriormente se muestran los resultados de los datos que se van procesando.

En la bibliografía de esta investigación dejaremos al lector el manual de uso del programa para que pueda revisar en que consiste cada una de las funciones y utilidades de Surfer.

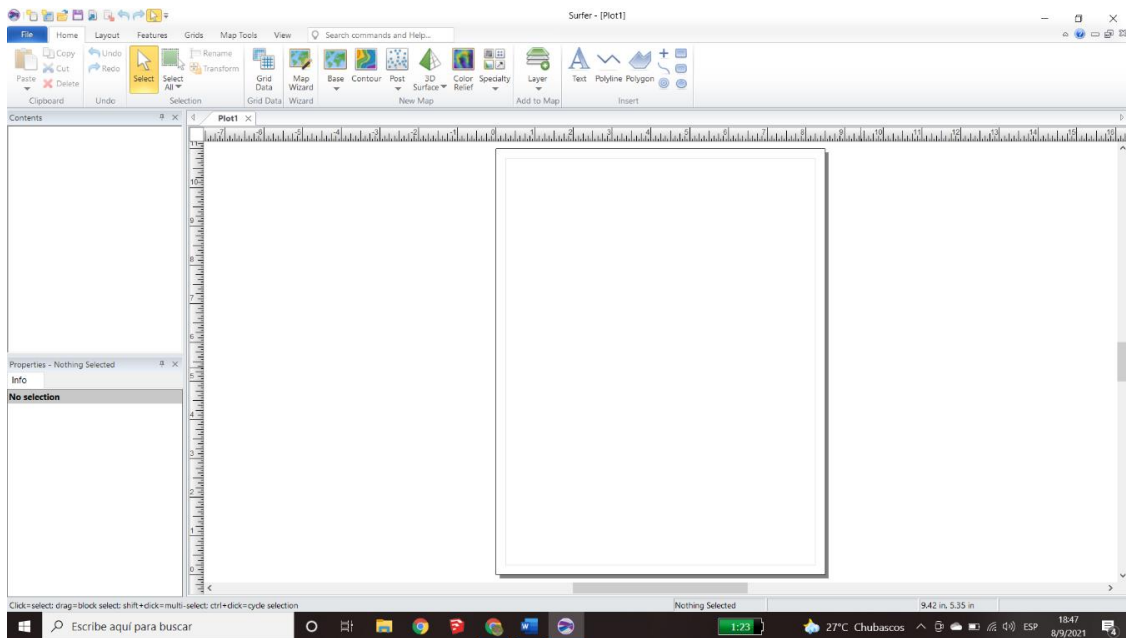


Figura 4.4: Interfaz principal Surfer. Fuente: (N. López,2021).

Paso 3: Seleccionamos el apartado de Grid Data, lo que hace esta función es leer un archivo ASCII con formato (X, Y, Z) e interpola un archivo imagen (*.GRD), utilizando el algoritmo de interpolación especificado, por ejemplo: Inverso de la Distancia, Regresión Polinomial, Mínima Curvatura, etc.

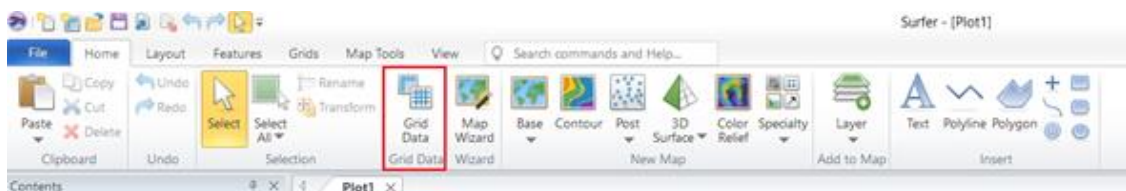


Figura 4.5: Uso del comando Grid. Fuente: (N. López,2021).

Paso 4: Nos aparece el siguiente recuadro, donde debemos buscar nuestro archivo que contiene los puntos x, y, z. Luego seleccionamos en Abrir.

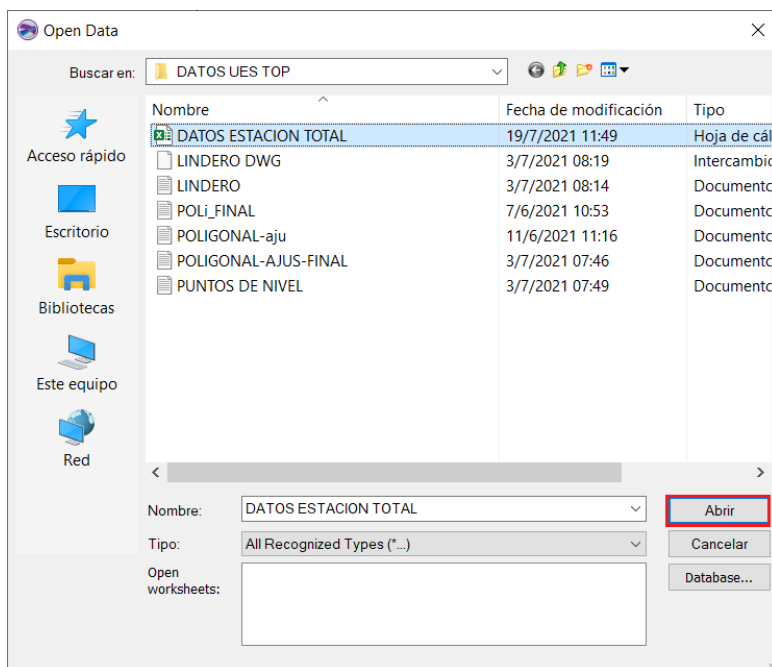


Figura 4.6: Selección del archivo de datos. Fuente: N. (N. López,2021).

Paso 5: Nos aparece la siguiente pantalla donde debemos ordenar la información de acuerdo a nuestra tabla de Excel.

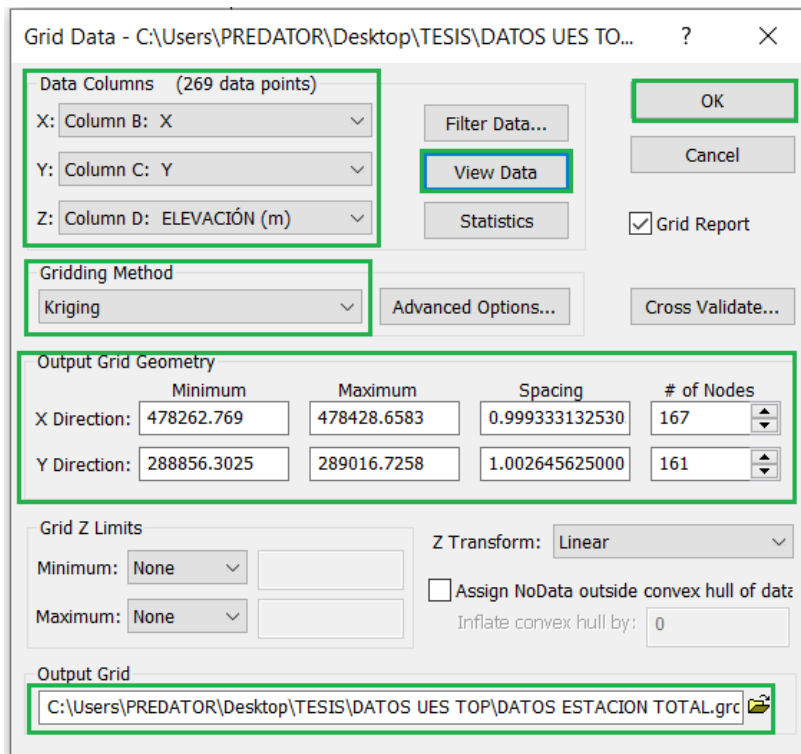


Figura 4.7: Selección de datos y configuración de Grid. Fuente: (N. López, 2021).

El recuadro de Data Columns debe coincidir con los datos ordenado en Excel. En Gridding Method vamos a seleccionar el método de grillado a usar, en este caso el de Kriging. Si queremos ver una vista previa de los datos seleccionamos View Data.

El recuadro de Output Grid Geometry se llena de acuerdo a nuestros datos de campo, en este caso la coordenada menor en X es 478262.769 y la menor mayor es 478428.658. El mismo proceso es con la coordenada Y.

Luego colocamos el espaciado al que queremos las grillas, en este caso 1.0 m y el programa calcula automáticamente la cantidad de intersecciones o nodos.

Por último, queda seleccionar la ruta dónde queremos guardar nuestro archivo GRD y damos clic en OK.

Paso 6: Nos parece la siguiente pantalla donde se muestra un recuadro con el mensaje de que nuestro archivo de grillas se ha creado con éxito. También nos aparece el informe de los datos generados, en algunos casos es importante revisarlo para ver si los datos fueron los correctos u obtener información estadística.

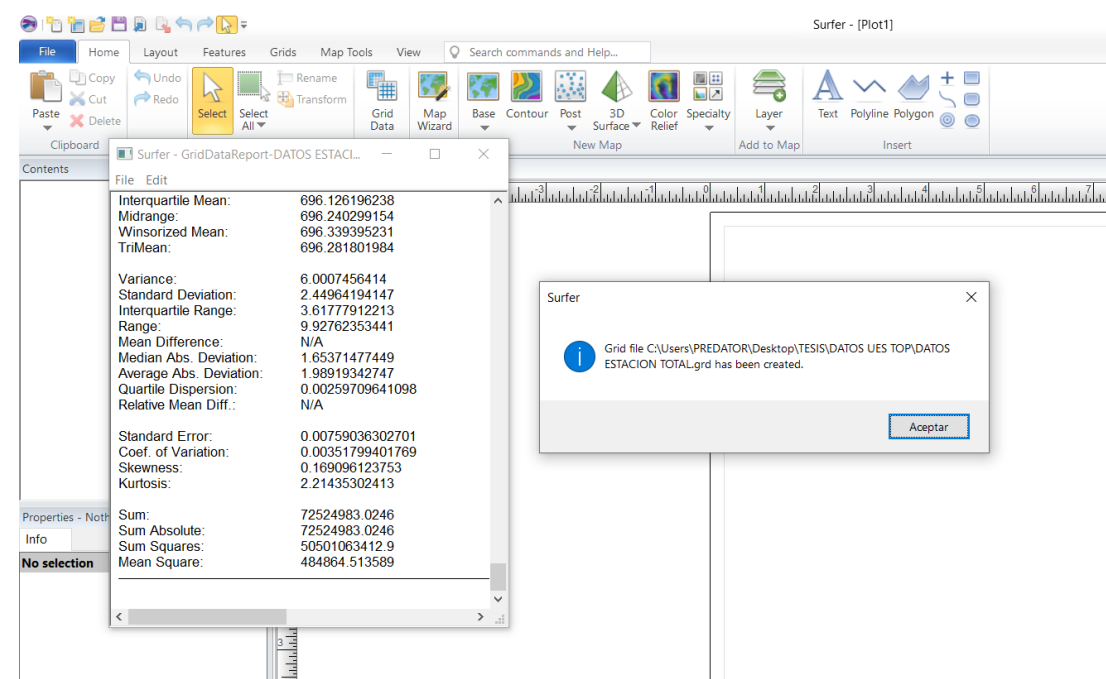


Figura 4.8: Reporte de creación de Grid de manera correcta. Fuente: (N. López, 2021).

Paso 7: Luego que dimos Aceptar y guardamos el informe, volvemos a la interfaz de Surfer y no veremos ningún cambio en la hoja de presentación.

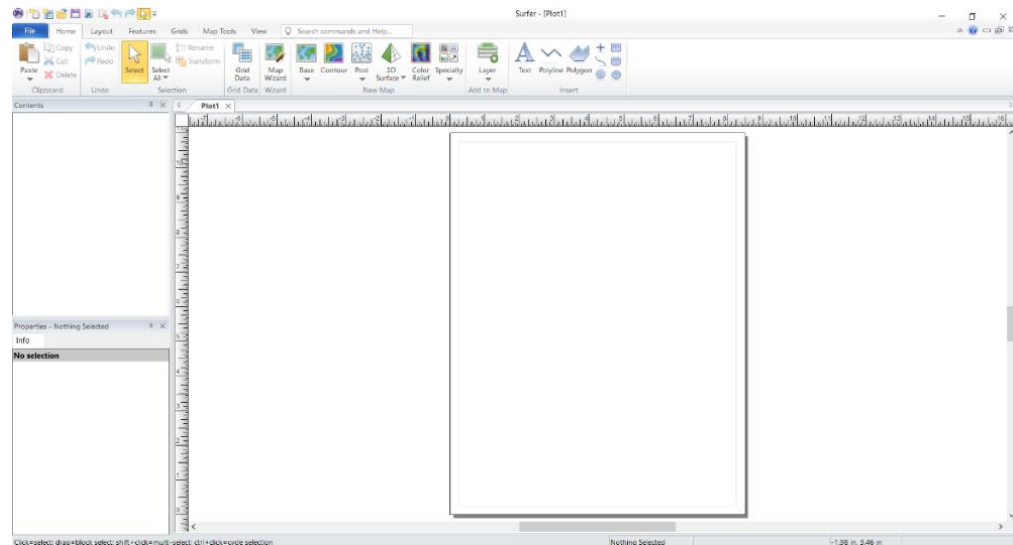


Figura 4.9: Interfaz principal con la Grid ya creada. Fuente: (N. López,2021).

Paso 8: Verificamos si nuestro archivo grd se guardó como lo especificamos.

Efectivamente se creó.

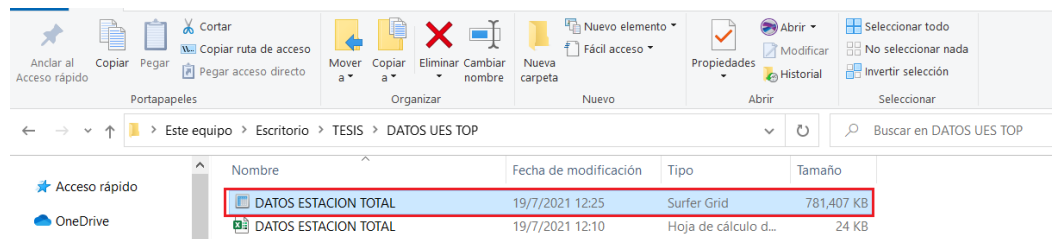


Figura 4.10: Creación del archivo grid en la carpeta seleccionada. Fuente: (N. López,2021).

Paso 9: Pasamos a generar el Contour (Curvas de Nivel), para ello damos clic en la herramienta Countour, seleccionamos el archivo grd creado anteriormente y clic en Abrir.

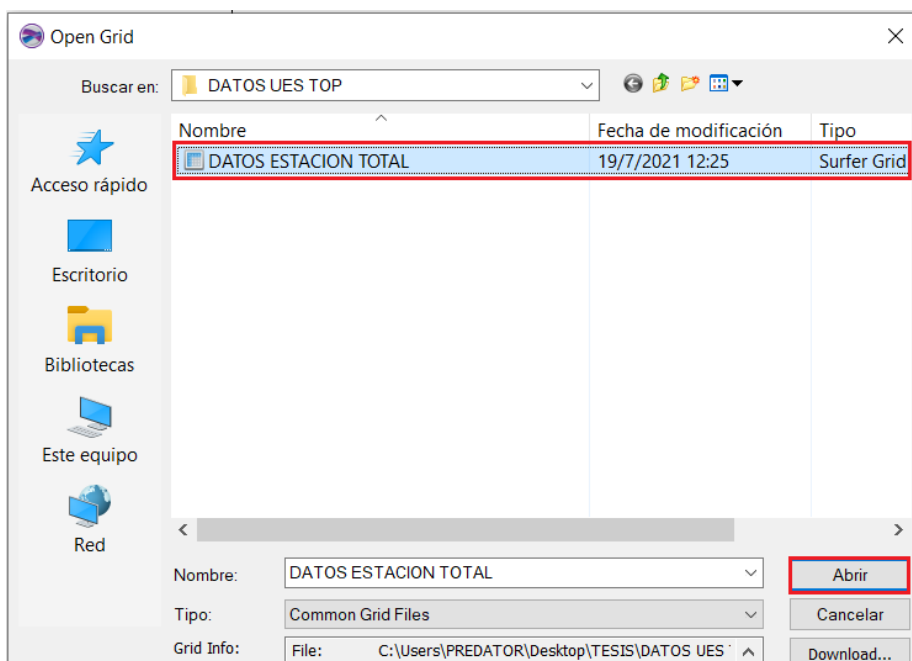


Figura 4.11: Selección del archivo .grid para crear curvas de nivel. Fuente: (N. López,2021).

Paso 10: Se ha creado con éxito el Contour.

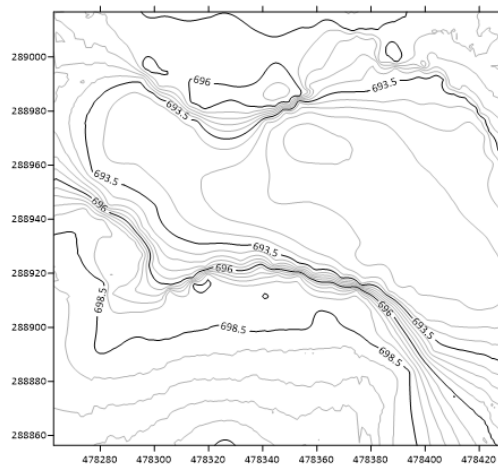


Figura 4.12: Curvas de nivel. Fuente: (N. López,2021).

Paso 11: Podemos personalizar un poco las curvas de nivel de acuerdo a las necesidades. Por ejemplo, cambiamos la paleta de colores para tener una mejor interpretación de las curvas de nivel.

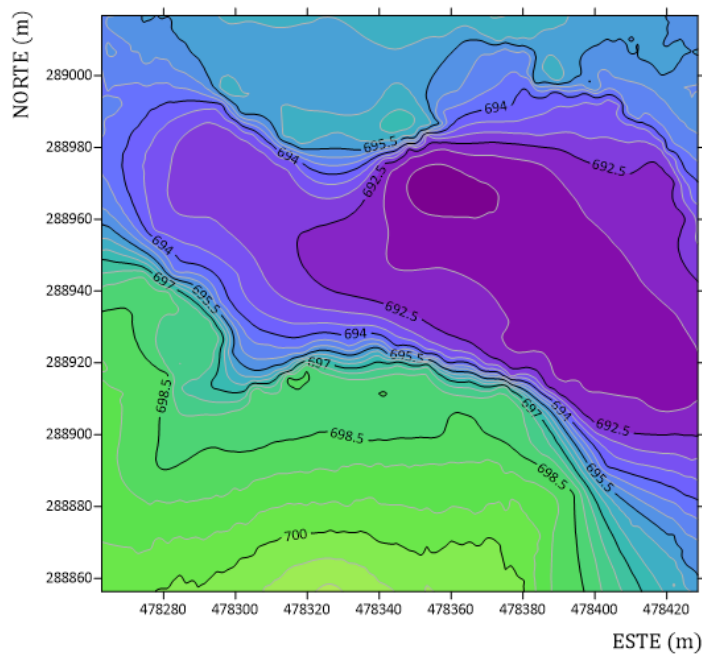


Figura 4.13: Curvas de nivel personalizadas. Fuente: (N. López,2021).

Paso 12: Luego pasamos a configurar parámetros de las curvas de nivel como por ejemplo la equidistancia, grosor de líneas, cota máx., cota min, etc. Para ello seleccionamos las curvas de nivel, luego Levels y editamos los niveles.

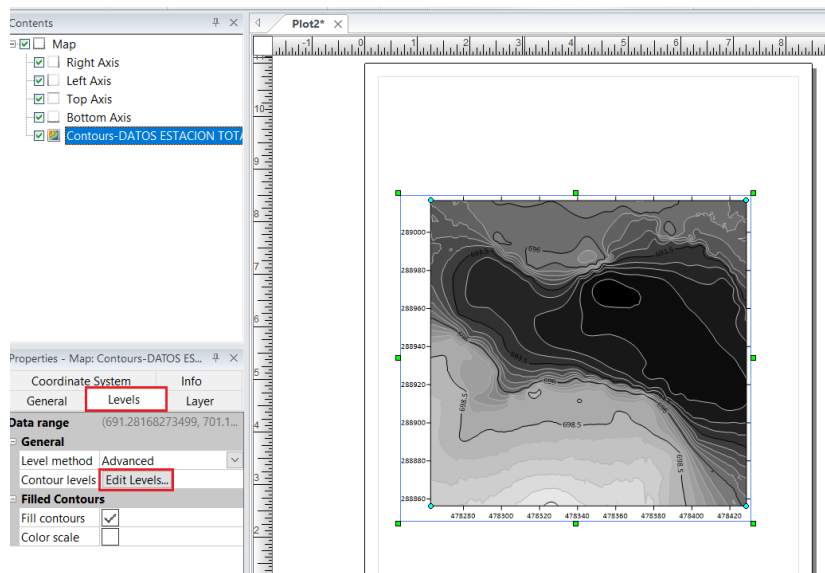


Figura 4.14: Configuración de curvas. Fuente: (N. López,2021).

Paso 13: Para introducir la equidistancia entre curvas, seleccionamos la opción Level, luego nos aparece el recuadro de la derecha e introducimos el valor y damos en OK, para ver los cambios damos clic en OK (recuadro verde).

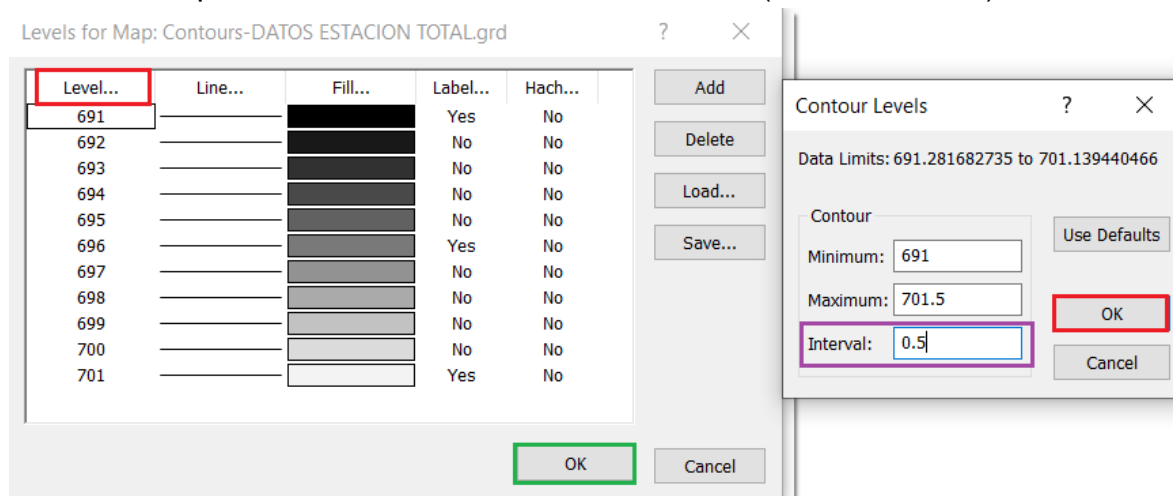


Figura 4.15: Ajuste de intervalo de curvas. Fuente: (N. López,2021).

Paso 14: También podríamos poner un color verde para ver de mejor manera la topografía del terreno y agregamos el polígono que limita nuestro terreno, para ello hacemos uso de la herramienta Base

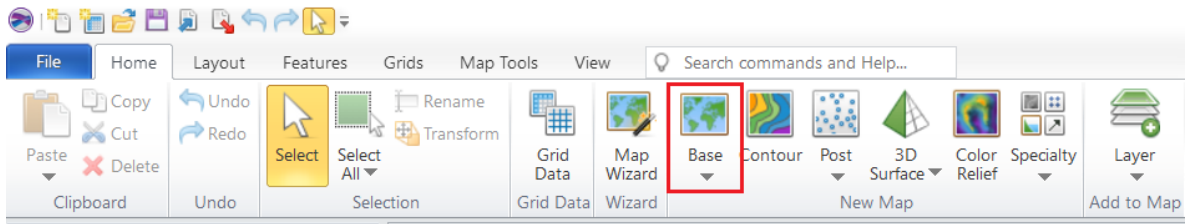


Figura 4.16: Uso de comando Base. Fuente: (N. López,2021).

Paso 15: Cargamos nuestro archivo, en este caso usaremos un dwg, pero el programa soporta muchos tipos de archivos como txt, xls, etc

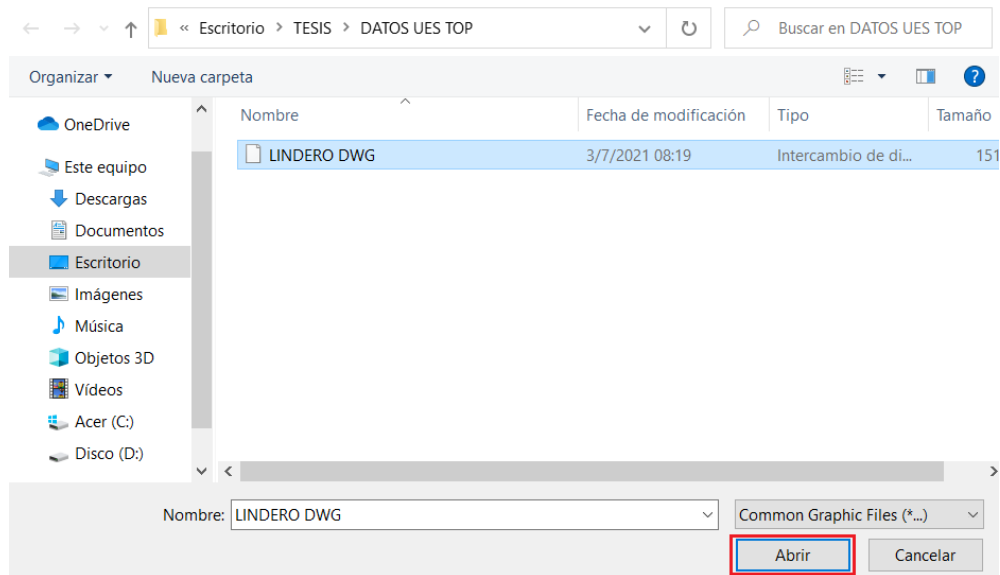


Figura 4.17: Selección de archivo base. Fuente: (N. López,2021).

Paso 16: Nos aparecerá el siguiente recuadro y damos clic en OK

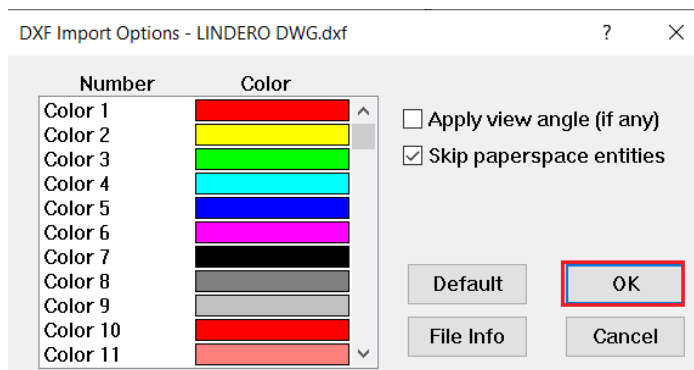


Figura 4.18: Colores para polígono de lindero. Fuente: (N. López,2021).

Paso 17: El resultado es el siguiente:

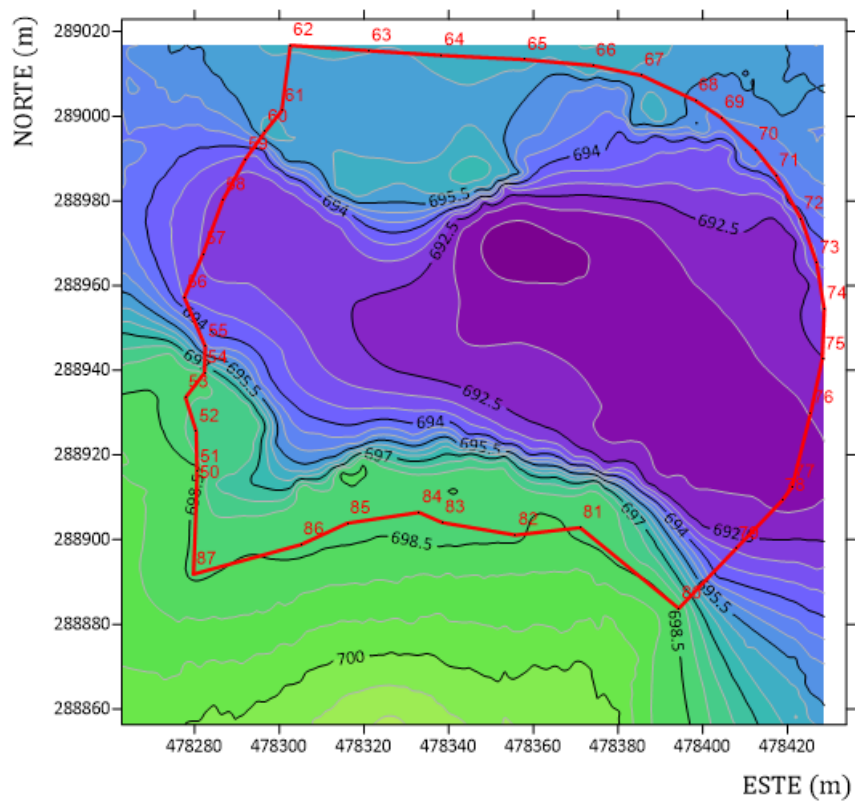


Figura 4.19: Superposición curvas de nivel y polígono de lindero. Fuente: (N. López,2021).

Paso 18: Luego pasamos a crear el modelo 3D, para ello seleccionamos la herramienta 3D Surface.

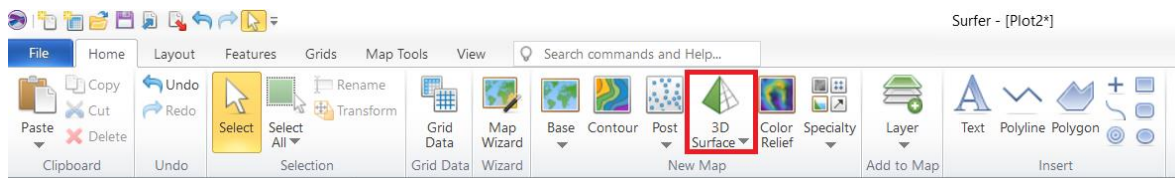


Figura 4.20: Comando Surface. Fuente: (N. López,2021).

Paso 19: Seleccionamos nuestro archivo de grillas grd y damos clic en Abrir.

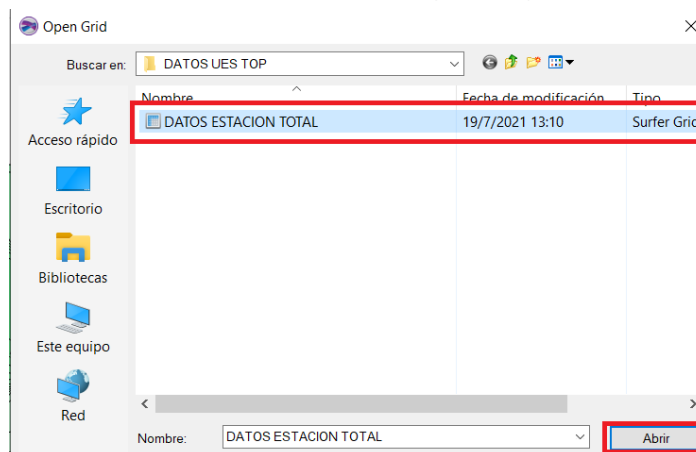


Figura 4.21: Selección de archivo grid que tenemos guardado. Fuente: (N. López,2021).

Paso 20: Nos aparece el modelo 3D que luego debemos personalizar. Ya generado el modelo 3D podríamos obtener información que sea de importancia, por ejemplo, Hidrológica, Pendientes, Geología, Topografía, etc.

CAPÍTULO V: ANALISIS DE RESULTADOS

VARIABLES DE DATOS	N. PUNTO	ΔX	ΔY	ΔZ	DESCRIPCIÓN
<i>Variación promedio (m)</i>	-	0.0267	0.0293	0.0175	-
<i>Mayor diferencia en coordenada X (m) (ΔX)</i>	259	0.0865	0.01611	0.007163	NIVEL
<i>Mayor diferencia en coordenada Y (m) (ΔY)</i>	106	0.07671	0.0990	0.007017	NIVEL
<i>Mayor diferencia en elevación Z (m) ($\Delta ELEV$)</i>	266	0.03797	0.007689	0.0971	NIVEL
<i>Menor diferencia en coordenada X (m) (ΔX)</i>	340	0.0001	0.001163	0.010111	NIVEL
<i>Menor diferencia en coordenada Y (m) (ΔY)</i>	320	0.01019	0.0002	0.058867	NIVEL
<i>Menor diferencia en elevación Z(m) ($\Delta ELEV$)</i>	76	0.02098	0.063946	0.0003	LINDERO
<i>Desviación de los datos respecto a su variación promedio (m)</i>	-	0.01605	0.01893	0.01481	-

Tabla 5.1 Datos obtenidos de la comparativa, Fuente: (E. Rosa,2021).

5.1 COMPARACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS CON ESTACIÓN TOTAL Y GPS.

De los resultados obtenidos por ambos métodos de medición se tiene que la variación promedio en las coordenadas de los puntos es inferior a 3 cm, lo cual indica que ambos métodos proporcionan resultados muy precisos entre sí y con un margen de diferencia muy bajo, de igual forma para la población de puntos en análisis la mayor diferencia en coordenadas planimétricas y de elevación entre ambos métodos siempre resulto ser inferior a 10 cm; Además es posible apreciar que la desviación estándar respecto a la variación promedio de las coordenadas obtenidas por ambos métodos es inferior a 2 cm, lo que indica que a partir de la variación promedio registrada en cada coordenada esta se ve típicamente aumentada o disminuida en menos de 2 cm.

TECNICA Y EQUIPO EMPLEADO	COSTO DEL EQUIPO	EQUIPO UTILIZADO PARA EL PROCESAMIENTO DE DATOS	SOFTWARE UTILIZADO	RECURSO HUMANO
	-Estación total marca sokkia Set 6 50RX:	\$4,500.0		Para un área de 15,000 m ²

Técnica topográfica	-Colector de datos marca Recon con software surver pro.	\$1,000.0	Pc i5 con 8 gb de memoria Ram: \$750.00	Software Surfer, licencia individual anual/ \$1,000	de terreno y con levantamientos de puntos de nivel a cada 10m en zonas planas y a cada 2 m en talud \$450.00
	-Cable de conexión colector/ estación total	\$70.0			
	-2 prismas	\$100.00 c/u			
	-1 cinta métrica de 8 metros.	\$8.00			

GNSS /RTK	-2 receptores GPS marca Carlson	\$12,500 /2 receptores	Pc i5 con 8 gb de memoria Ram: \$750.00	Software Surfer, licencia individual anual/ \$1,000	Para un área de 15,000 m2 de terreno y con levantamientos de puntos de nivel a cada 10m en zonas planas y a cada 2 m en talud o zonas alomadas \$250.00
	-1 Colector de datos Marca Carlson con sistema operativo SurvCE	\$1,800			
	-1 Cable de comunicación entre equipo receptor y colector de datos.	\$70.0			
	-1 Base nivelante.	\$50			
	-1 Cinta métrica 8 metros	\$8.0			

	-1 cable de carga para receptor	\$100.0			
	-1 batería externa	\$60			

Tabla 5.5 Desglose de Costos por cada equipo usado: Fuente: (E. Rosa,2021).

Análisis de costos y tiempos de realización

Ambos métodos de medición proporcionan resultados satisfactorios para obtención de datos en campo; sin embargo, es necesario hacer la cuantificación económica y temporal para su ejecución.

En la siguiente tabla se presenta un balance económico dando a conocer los costos incurridos para realizar el levantamiento del terreno por el método topográfico con estación total y con el método GNSS a partir de la técnica RTK:

COSTOS TOTALES EN AMBOS METODOS	
<i>Técnica topográfica con estación total</i>	\$ 7,978.00
<i>Técnica GNSS - RTK</i>	\$ 16,588.00

Tabla 5.3 Costos de cada equipo usado: Fuente: (E. Rosa,2021).



Figura 5.1 Grafico costos por método de medición. Fuente: (E. Rosa,2021).

De los resultados obtenidos es posible definir que el costo de ejecución para la técnica topográfica con estación total resulta ser 51.9% menor con respecto al costo para la técnica GNSS-RTK, dichos costos involucran las etapas de campo y post proceso.

Para el cálculo del costo de cada uno de los métodos de levantamiento, se realizó en base a precios actualmente vigentes, así como experiencia en campo de profesionales.

En la tabla 5.4 se presenta el análisis comparativo en tiempos de realización para poder llevar a cabo el levantamiento de la zona en estudio por ambos métodos:

Trabajo de gabinete o postproceso	Técnica Topografica con estación total (hr)	Tecnica GNSS-RTK (hr)
Trabajo de campo	39	9
Trabajo de gabinete o postproceso	2	2
Total	41	11

Tabla 5.4: Resumen de tiempo por método de medición. Fuente: (E. Rosa,2021).

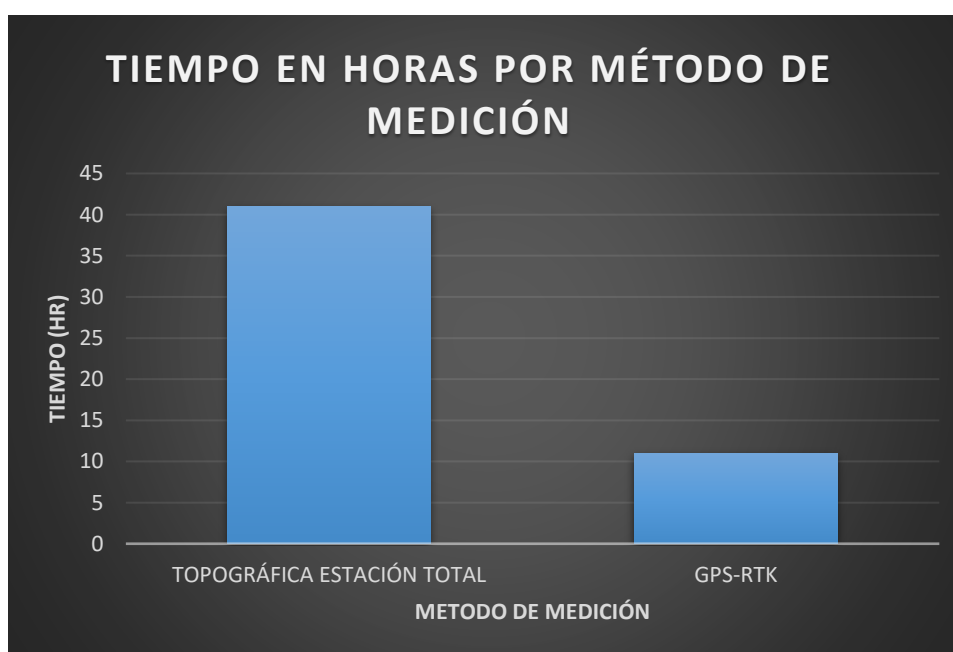


Figura 5.2 Grafico tiempo de medición de cada método. Fuente: (E. Rosa,2021).

De los resultados obtenidos para el tiempo de ejecución en las mediciones y posterior procesamiento de datos se puede definir que el tiempo utilizado para el empleo de la técnica topográfica con estación total es 3.7 veces mayor al tiempo que se necesita para hacer el mismo trabajo por medio de la técnica GNSS-RTK. El tiempo empleado en horas para la ejecución de ambos métodos es para condiciones climáticas secas, en una altitud promedio de 680 msnm, 15,000 m²

de terreno aproximadamente, con topografía ondulada y realizando levantamientos de puntos de nivel a cada 10 m en zonas planas y a cada 2 m en zonas alomadas.

5.2 COMPARACIÓN DE LOS MDT.

Del procesamiento de datos de campo se obtuvieron los MDT, estos modelos quedan casi de manera idéntica siendo difícil poder distinguir diferencias a simple vista. Dado que la diferencias en los datos son centimétricas no podemos decir cual equipo es mejor en cuanto a las precisiones de los datos para elaborar el MDT, sin embargo, el uso del GPS es mucho más versátil que la estación total.

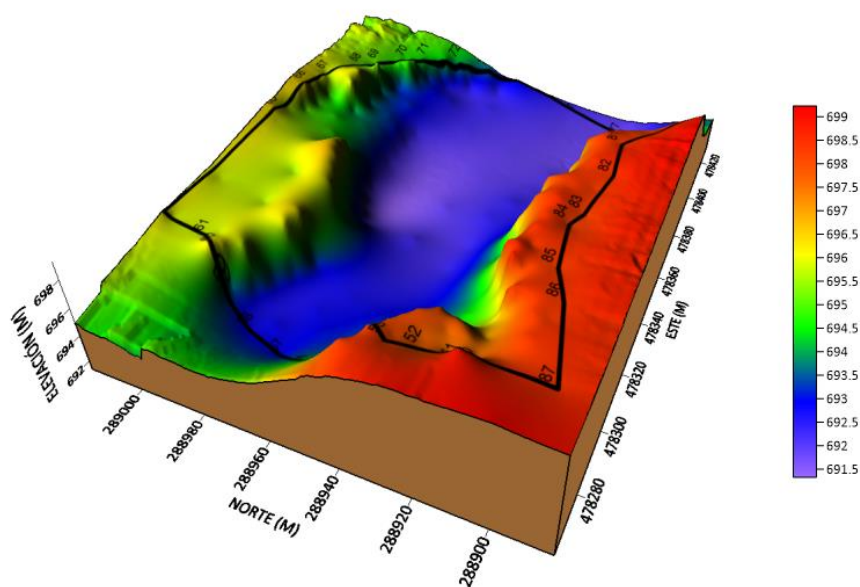


Figura 5.3 Modelo digital de terreno obtenido con datos de estación total.
Fuente: (N. López, 2021).

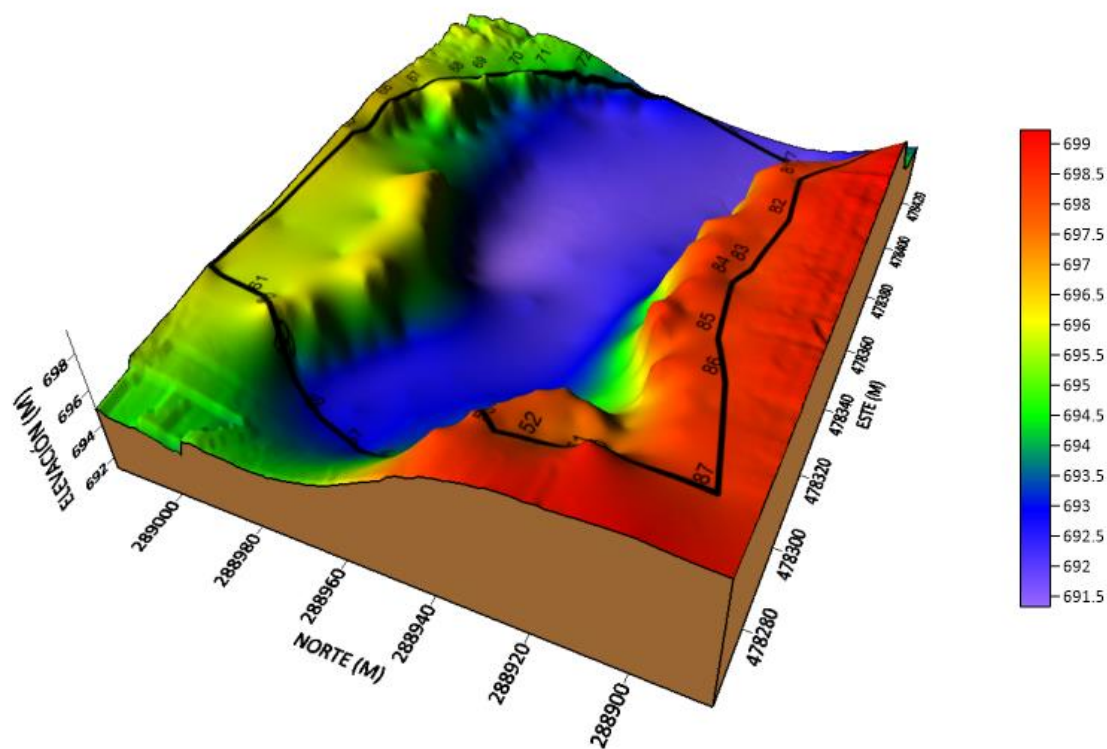


Figura 5.4 Modelo digital de terreno obtenido con datos GPS, Fuente: (N. López,2021).

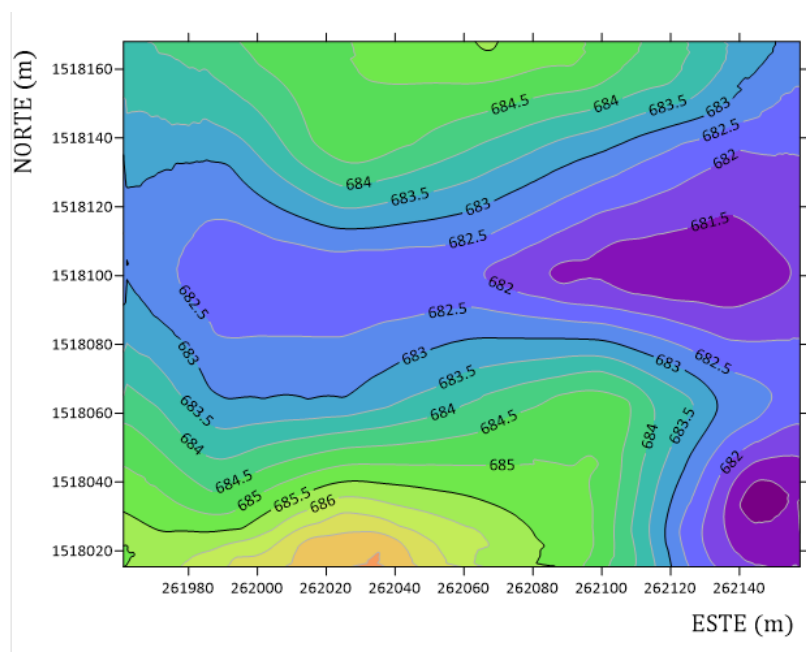


Figura 5.5 Curvas de nivel. Fuente: (N. López,2021).

Dado que los MDT obtenidos para técnica quedan prácticamente idénticos la superposición sería un mapa igual al presentado anteriormente y por ello se ha propuesto realizar una comparación con un MDT obtenido a partir del procesamiento de imágenes apoyándonos en Google Earth y Global Mapper.

El Modelo 3D sería el siguiente:

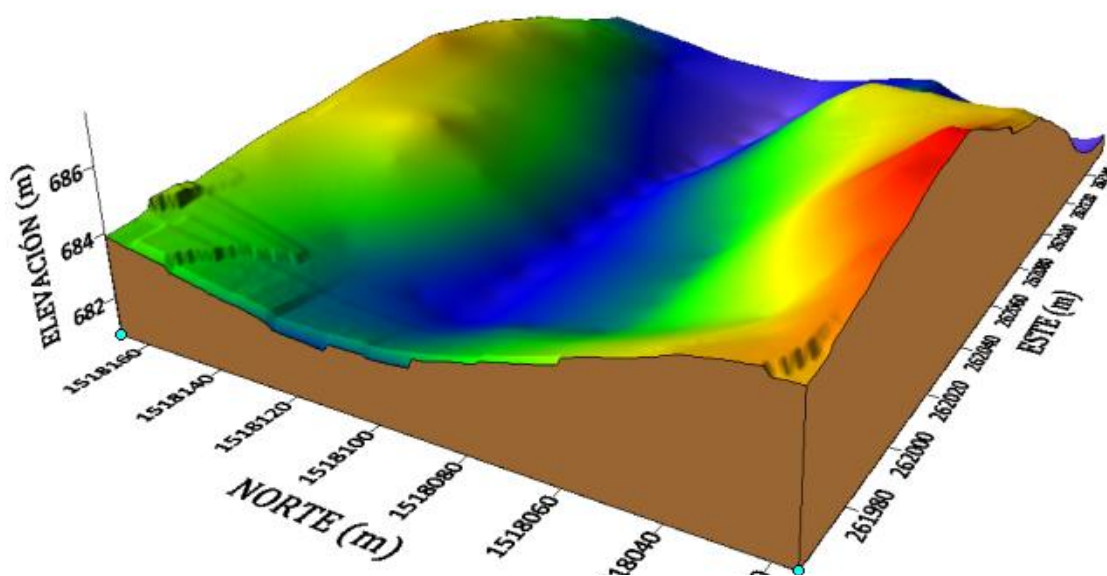


Figura 5.6: MDT obtenido con datos de internet. Fuente: (N. López,2021).

Como se puede apreciar los modelos presentan grandes diferencias, si bien los datos con los que se ha realizado MDT real de nuestra investigación son alrededor de 340, al realizar el MDT se obtiene un resultado muy aceptable y se apeg a la realidad del terreno levantado, en cuanto al MDT obtenido del procesamiento de datos de internet los cuales son 1,200 puntos, su resolución y

topografía del terreno se presenta de manera muy suave y no se puede apreciar a detalle las características físicas del terreno.

Otra comparativa que podríamos realizar es la comparativa de perfiles topográficos obtenidos a partir del MDT obtenido para GPS y Estación Total, sin embargo, como veremos a continuación las diferencias entre los perfiles son inapreciables visualmente dado que las diferencias entre los datos fueron centimétricas.

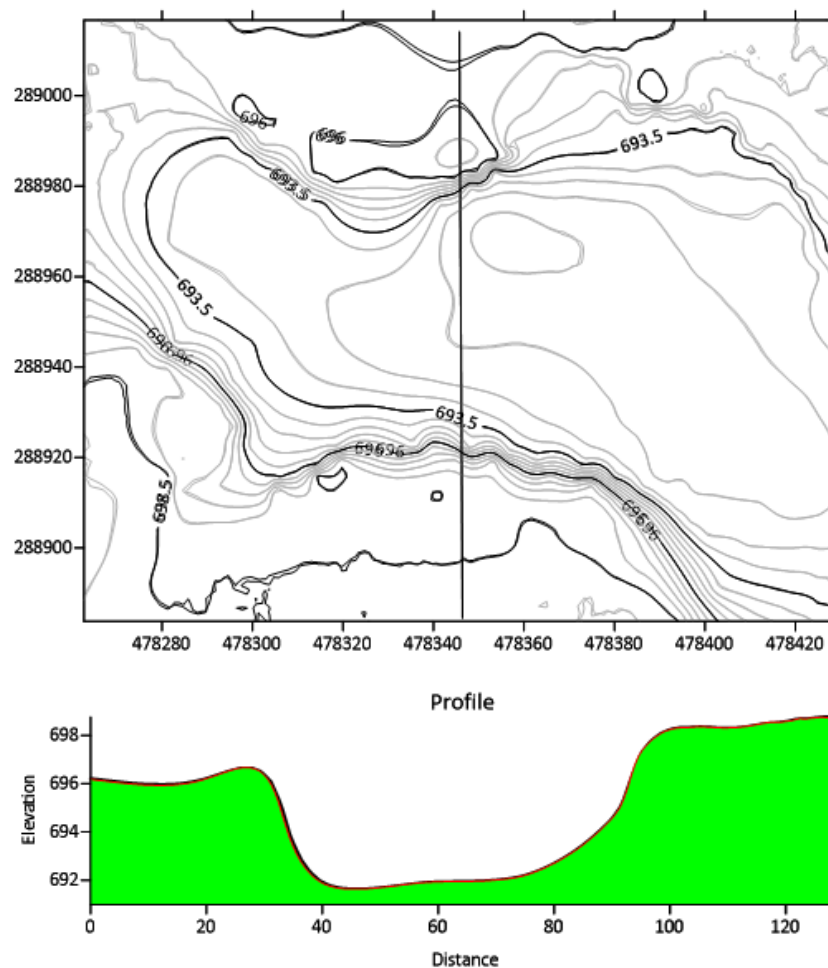


Figura 5.7 Superposición de perfil topográfico longitudinal obtenido de datos PGS y de Estación Total. Fuente: (N. López,2021).

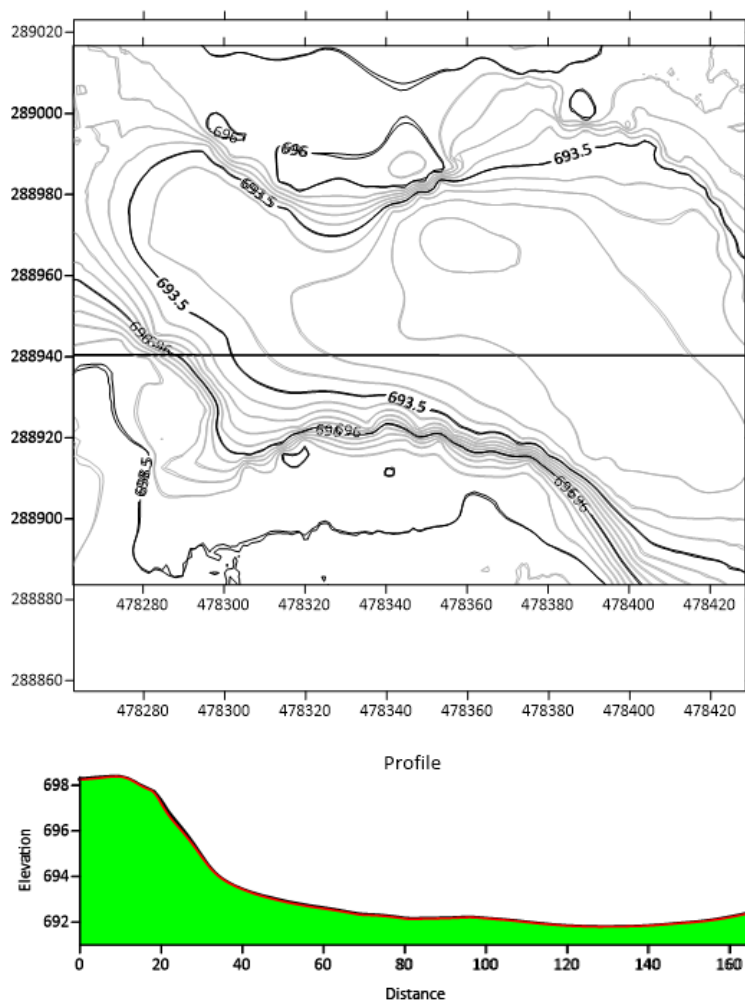


Figura 5.8 Superposición de perfil topográfico Transversal obtenido de datos PGS y de Estación Total. Fuente: (N. López,2021).

En cuanto a la información que podemos obtener de un MDT se presenta a continuación la comparativa del mapa hidrológico obtenido para cada MDT.

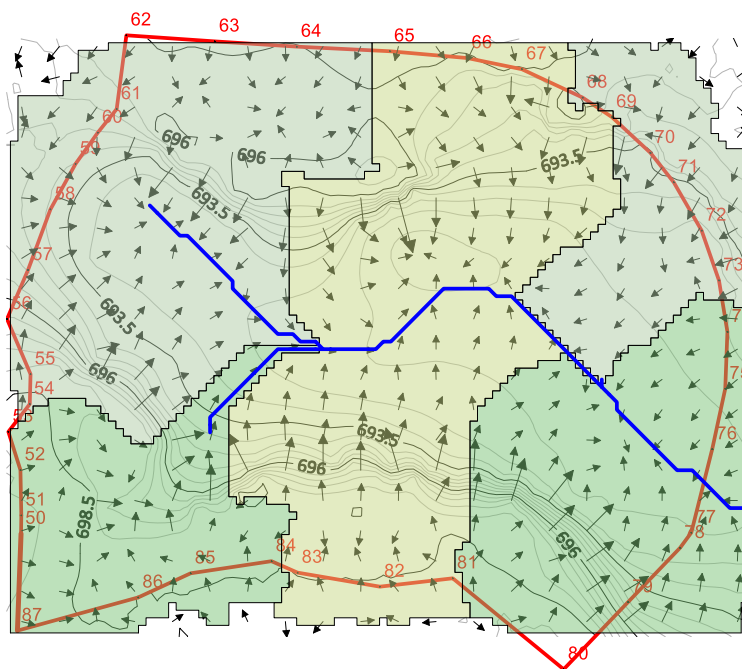


Figura 5.9 Superposición de mapas de curvas de nivel, hidrológico y lindero. MDT obtenido con datos de GPS y Estación Total. Fuente: (N. López,2021).

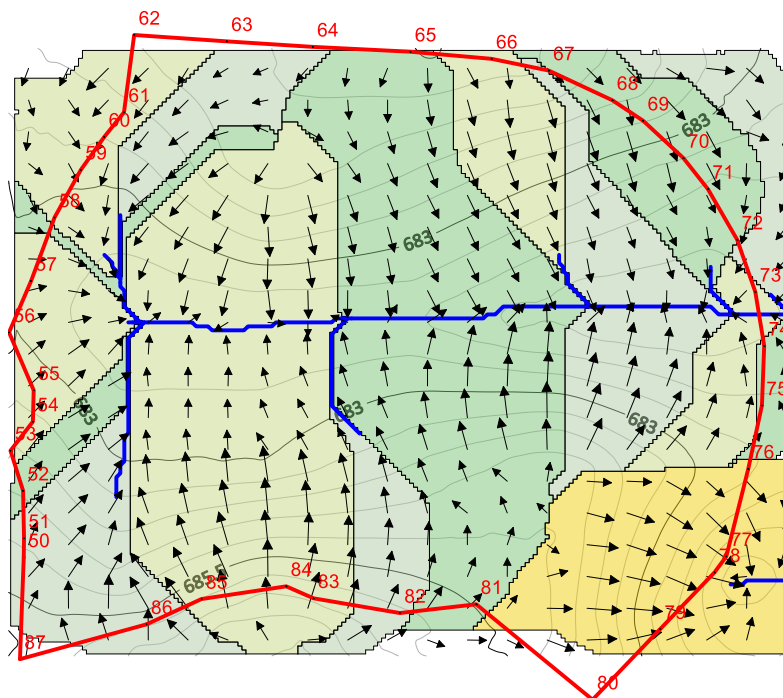


Figura 5.10 Superposición de mapas de curvas de nivel, hidrológico y lindero. MDT obtenido con datos de internet. Fuente: (N. López,2021).

De la comparación de mapas hidrológicos se observa que para el MDT de los datos reales tomados en campo tanto el número de microcuencas como su forma y orientación cambia respecto a las del MDT obtenido de los datos de internet, el sentido de escurrimiento es diferente en algunos lugares en ambos MDT. Cabe recalcar que la diferencia entre los modelos es principalmente debido a que las fotografías satelitales y mapas de internet no son actualizados de manera eficiente y debido a este retraso los datos obtenidos en campo mediante método directos en este caso con GPS y Estación total presentan grandes diferencias en coordenadas X, Y y Z y por ende los MDT o MDE procesados quedaran de una manera diferente entre sí.

Otra información de importancia que podríamos obtener son perfiles topográficos longitudinales y transversales como los que se presentan a continuación:

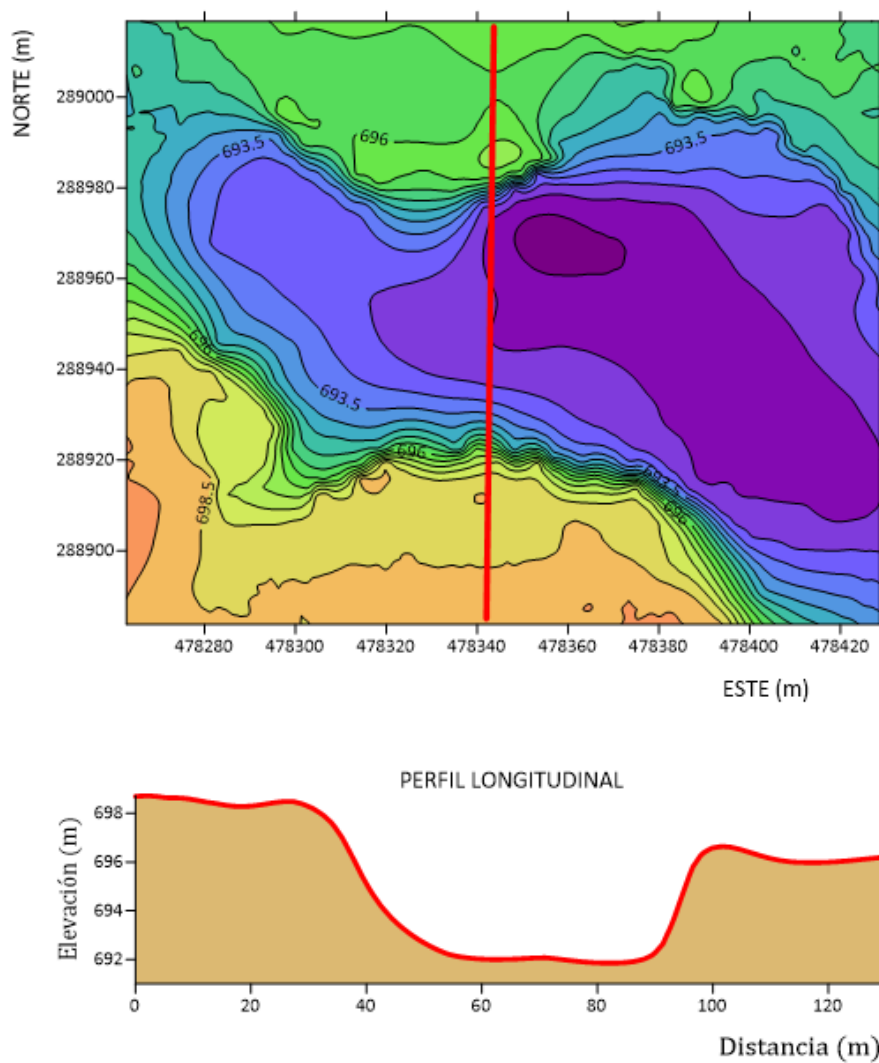


Figura 5.11 Perfil longitudinal obtenido en Surfer. Fuente: (N. López,2021).

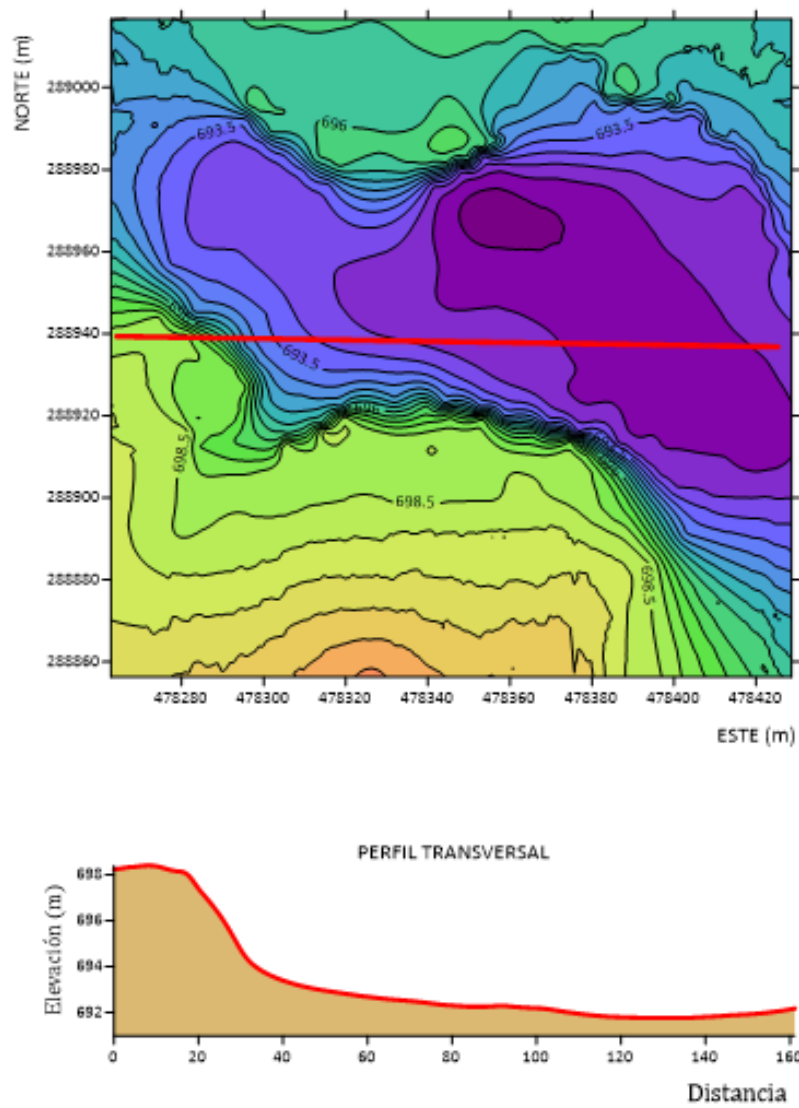


Figura 5.12: Perfil transversal obtenido en Surfer. Fuente: (N. López,2021).

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones.

1. Los datos obtenidos con Estación Total y GPS presentan desviaciones que varían en el rango de 0.1mm hasta 9.9cm, estas variaciones dependen principalmente de los trabajos de campo realizados con estación total la cual conlleva múltiples fuentes de error respecto al empleo del GPS que presenta un uso menos complejo y reduce el margen de Error Humano en el cadenamamiento de datos que ocurren con la Estación Total; sin embargo, los resultados de ambos métodos se consideran satisfactorios para la obtención de MDT.
2. En cuanto al análisis del tiempo, el empleo de la técnica GNSS/RTK con GPS presenta ventajas muy significativas sobre la topográfica con Estación Total dado que el tiempo para tomar un punto es 3.7 veces menor, sin embargo, para la GNSS/RTK con GPS se presenta un elevado costo económico de más de 2 veces el precio de la técnica topográfica con el empleo estación total y esto representa una dificultad particularmente para la adquisición técnica o alquiler del equipo además de representar un riesgo la seguridad de los técnicos o personas que trabajan en el rubro.

3. La técnica GNSS/RTK con GPS no excluye a la técnica topográfica con estación total por su mayor versatilidad en campo para la obtención de datos necesarios en la realización de los MDT, sino más bien son técnicas auto complementarias, ya que para algunas condiciones en zonas de estudio (sobre todo con densa vegetación) hacen que la técnica con el uso del GPS se vuelva difícil de emplear, por ello se vuelve necesario la complementación de los trabajos en campo con el uso de la Estación total.
4. Los MDT obtenidos con los datos de cada equipo son casi idénticos, por lo que físicamente no se puede realizar un análisis a fondo de las diferencias que presentan los modelos, esto demuestra que ambos métodos presentan resultados satisfactorios para la obtención de datos en campo.
5. Para ambas técnicas de medición es de vital importancia la colocación adecuada entre puntos de nivel en el terreno, así para áreas alomadas o con topografía quebrada es necesario colocar dichos puntos a no más de 3 metros entre sí, buscando garantizar que el MDT obtenido con ellos refleje de la manera más semejante la realidad del terreno.
6. El MDT obtenido con apoyo de imágenes satelitales en línea brinda una perspectiva general del relieve en la zona de estudio; sin embargo, no

proporciona los detalles particulares como los que se obtienen en campo con el uso de la Estación Total o GPS, por lo que depende de la formalidad y usos para lo que se requiere el MDT el empleo de esta alternativa, así pues para la realización de proyectos de mejora e infraestructura es necesario realizar un levantamiento en campo con GPS o estación Total y para presentar un MDT para una época específica en que las condiciones del terreno no eran como las actuales es apropiado emplear imágenes satelitales en línea.

6.2 Recomendaciones.

1. Cuando se realiza la monumentación de los puntos que se levantarán para posteriormente realizar la comparativa, si se utilizan marcas de madera(trompos), se recomienda colocarlas de forma tal que sobresalgan del piso unos 20 cm y pintarlas de un color que sea fácil de observar, dado que si la maleza crece se pierde mucho tiempo en encontrar los punto.
2. Cuando se van a realizar mediciones con GPS se recomienda hacerlo en lugares despejados y con topografía no tan accidentada, ya que estos equipos son muy sensibles y en zonas con densa vegetación impiden la lectura de datos.
3. Para realizar comparaciones entre MDT obtenidos con datos reales tomados en campo y MDT obtenidos con datos de internet debemos asegurarnos que estos datos están actualizados y que provengan de fuentes confiables.
4. Para los interesados en hacer uso de la guía práctica para el empleo del equipo en campo, si bien en el presente trabajo se desarrolla el uso de los diferentes equipos de manera bastante ilustrativa, es recomendable

estudiar el marco teórico conceptual de cada técnica para entender el principio en cual se fundamentan los trabajos en campo.

5. Para futuros trabajos de investigación a realizar por la escuela de ingeniería civil de la facultad de ingeniería y arquitectura de la Universidad de El Salvador es apropiado desarrollar un análisis y documentar más a detalles las técnicas modernas e innovadoras para la obtención de datos de campo tales como la metodología laser LIDAR e imágenes LANDSAT; equiparar similitudes y diferencias en cuanto a precisión, costo y tiempo de realización con respecto a los equipos tradicionales directos de medición.

Bibliografía.

- ✓ Cap. N° 6 – Especificaciones Técnicas Topográficas y Geodésicas, Serviu Metropolitano.
- ✓ Modelos Digitales de Terreno - Angel M. Felicísimo.
- ✓ Comparación Estadística de Métodos Interpolación Determinísticos y Estocásticos para la generación de Modelos Digitales del Terreno a partir de datos LIDAR, en la parroquia de Tumbabiro, cantón San Miguel de Urcoquí, provincia de Imbabura - José Sebastián Duque Martínez.
- ✓ ¿Qué es un Modelo Digital de Terreno? - Patricio Soriano Castro.
- ✓ Diferencias entre un DSM, DEM & DTM - GISGeography y GISResources.
- ✓ Topografía Moderna con Estación Total y Colector TDS Recon Survey Pro.
- Ing. Wilfredo Amaya Zelaya.

ANEXOS

Glosario técnico:**Términos y definiciones.**

Geodesia: ciencia que trata de la determinación de las dimensiones exactas y de la forma de la Tierra y de la localización precisa de puntos sobre la superficie terrestre.

Topografía: ciencia que estudia el conjunto de procedimientos para determinar las posiciones relativas de los puntos sobre la superficie de la tierra y debajo de la misma, mediante la combinación de las medidas según los tres elementos del espacio: distancia, elevación y dirección.

Estación Total: es un teodolito que cuenta con un distanciómetro integrado, capaz de medir ángulos y distancias de forma simultánea.

Red geodésica nacional SIRGAS-ES2007: Red Geodésica Básica Nacional

GPS de alta precisión: calcula de forma exacta las ubicaciones geográficas utilizando la información de los satélites de GPS

Modelo Digital de Terreno (MDT): Es una representación tridimensional de una superficie del terreno consistente en coordenadas X, Y, Z almacenadas en forma digital

Modelos Digitales de Elevación (MDE): Es una matriz de celdas de tierra desnuda referida a un dato vertical.

Método LIDAR: Es una tecnología que permite medir distancias desde un emisor láser a un objeto o superficie.

Surfer: Es un software completo para la visualización en 3D, la creación de isolíneas, y el modelado de superficies que se ejecuta bajo Microsoft Windows.

Estructuras TIN: Constituyen elementos vectoriales en tres dimensiones cuyo elemento exclusivo es un conjunto de triángulos que forman diferentes planos.

Estructuras Raster: Es aquella en la que el terreno está representado por una matriz o cuadrículas rectangulares georreferenciada cuyas celdas o elementos básicos son equidistantes

Grillado: Genera un arreglo espacial regular de valores de Z a partir de datos X, Y originales, irregularmente distribuidos; El grillado rellena esos espacios por medio de interpolaciones o extrapolaciones de los valores de Z en los lugares donde estos datos no existen. Según sea el Modelo que se aplique, la interpolación se realiza por diferentes métodos.

Imágenes satelitales LANDSAT: Están compuestas por 7 u 8 bandas espectrales, especialmente elegidas para el monitoreo de la vegetación, aplicaciones geológicas y estudio de los recursos naturales.

Acrónimos:

GPS: Sistema de Posicionamiento Global.

CNR: Centro Nacional de Registros.

DEM: Modelo Digital de Elevación.

DTM: Modelo Digital de Terreno.

DMS: Modelo Digital de Superficie.

MAT: Modelos Analógicos del Terreno.

GNSS: Sistema Global de Navegación por Satélite.

RTK: Posicionamiento Cinemático en Tiempo Real.

WGS-84: Sistema geodésico mundial.

PPM: Partes por millón.

LIDAR: sistema de medición y detección de objetos mediante láser.

PC: Constante de prisma.

PDOP: Dilución de Precisión en Posición.

GDOP: Dilución de Precisión Geométrica.

HEMC: Precisión horizontal.

VEMC: Precisión vertical.