



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

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LEVANTAMIENTOS ALTIMÉTRICOS POR GPS, ESTACIÓN
TOTAL Y MÉTODO DE NIVELACIÓN DIFERENCIAL**

Anselmo Enrique Vidal Mactzul Xicay

Asesorado por el Ing. Juan Ramón Ordoñez Hernández

Guatemala, agosto de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LEVANTAMIENTOS ALTIMÉTRICOS POR
GPS, ESTACIÓN TOTAL Y MÉTODO DE NIVELACIÓN DIFERENCIAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

ANSELMO ENRIQUE VIDAL MACTZUL XICAY

ASESORADO POR EL ING. JUAN RAMÓN ORDOÑEZ HERNÁNDEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, AGOSTO DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

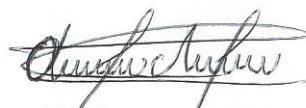
DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Nicolás de Jesús Guzmán Sáenz
EXAMINADOR	Ing. Milton Lenin Hernández González
EXAMINADOR	Ing. Luis Eduardo Portillo España
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LEVANTAMIENTOS ALTIMÉTRICOS POR GPS, ESTACIÓN TOTAL Y MÉTODO DE NIVELACIÓN DIFERENCIAL

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil,
con fecha 7 de abril de 2016.



Anselmo Enrique Vidal Mactzul Xicay

Guatemala, 19 de febrero de 2018.

Ingeniero
Mario Estuardo Arriola Ávila
Coordinador del Área de
Topografía y Transportes
Escuela de Ingeniería Civil
Guatemala

Respetado Ingeniero:

Por este medio hago de su conocimiento que he revisado el trabajo de graduación titulado **"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LEVANTAMIENTOS ALTIMÉTRICOS POR GPS, ESTACIÓN TOTAL Y MÉTODO DE NIVELACIÓN DIFERENCIAL"**, desarrollado por el estudiante universitario Anselmo Enrique Vidal Mactzul Xicay, con la asesoría del suscrito.

El trabajo en mención satisface los requisitos que exige la facultad, por lo cual recomiendo que se continúe con los trámites para la aprobación de la misma.

Sin otro particular, me suscribo de usted.

Atentamente,



JUAN RAMON ORDOÑEZ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Colegiado No. 4052

Ing. Juan Ramón Ordoñez Hernández
Ing. Civil. Colegiado No. 4,052
Asesor

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala, 18 de Abril de 2018

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

Estimado Ingeniero Montenegro:

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LEVANTAMIENTOS ALTIMÉTRICOS POR GPS, ESTACIÓN TOTAL Y MÉTODO DE NIVELACIÓN DIFERENCIAL"** desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Anselmo Enrique Vidal Mactzul Xicay, con CUI 2318 05098 0101 y registro académico No. 201213043, quien contó con la asesoría del Ing. Juan Ramón Ordoñez Hernández.

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

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

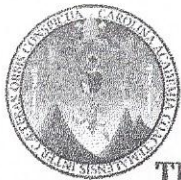

Ing. Mario Estuardo Arriola Avila
Coordinador del Área de Topografía y Transportes



FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO
DE
TRANSPORTES
USAC

Mas de **134** años de Trabajo Académico y Mejora Continua





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Juan Ramón Ordóñez Hernández y Coordinador del Departamento de Topografía y Transportes Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila, al trabajo de graduación del estudiante Anselmo Enrique Vidal Mactzul Xicay **ANÁLISIS COMPARATIVO DE LEVANTAMIENTOS ALTIMÉTRICOS POR GPS, ESTACIÓN TOTAL Y MÉTODO DE NIVELACIÓN DIFERENCIAL** da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, agosto 2018

/mmm.

Mas de 137 años de Trabajo y Mejora Continua





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **ANÁLISIS COMPARATIVO DE LEVANTAMIENTOS ALTIMÉTRICOS POR GPS, ESTACIÓN TOTAL Y MÉTODO DE NIVELACIÓN DIFERENCIAL**, presentado por el estudiante universitario: **Anselmo Enrique Vidal Mactzul Xicay**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, agosto de 2018



/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por brindarnos la fuerza y mostrarnos la luz del camino correcto.

Mis padres

Enrique Mactzul y Dolores Xicay, por haberme brindado su apoyo incondicional durante todo este tiempo, por sus sabios consejos, su paciencia, su amor y confianza.

Mis hermanos y hermanas

Yolanda, Vilma, Edgar y Byron, por brindarme la energía y los ánimos para enfrentar los retos de la vida y asumirlos con valentía.

AGRADECIMIENTOS A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala	Honorable institución forjadora de profesionales valientes y con sed de conocimiento.
Facultad de ingeniería	Por brindarme la herramientas necesarias para llegar a ser todo un profesional.
Mis amigos y amigas	José Marroquín, Katheryn Escobar, Luis Zarat, Cesar Mendez, Víctor Morales, Gabriela Marroquín, Daniel Pontaza, Ingrid Suriano, Norma Calo, Smaily Hernández, Hector Santisteban y Edd Torres, por estar allí batallando a mi lado y brindarme la inspiración para seguir luchando día con día.
Colegas	Gabriela Marroquín, José Tintí, Luis Zarat y Edgar Mactzul, por la asistencia técnica brindada en la fase práctica del presente trabajo.
Profesionales	Ing. Juan Ramón Ordoñez e Ing. Marrio Arriola, por haberme brindado la orientación y los parámetros necesarios para el presente trabajo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XV
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. Concepto de topografía	1
1.2. Breve historia de la topografía	2
1.3. División de la topografía	2
1.3.1. Planimetría.....	3
1.3.2. Altimetría.....	3
1.4. Errores y factores determinantes en levantamientos topográficos	4
1.4.1. Errores sistemáticos.....	5
1.4.2. Errores accidentales	5
1.5. Instrumentos topográficos.....	6
1.5.1. Instrumentos simples	6
1.5.1.1. Cinta métrica	6
1.5.1.2. Plomada	7
1.5.1.3. Estadal	7
1.5.1.4. Brújula.....	7
1.5.1.5. Barómetro	8
1.5.2. Instrumentos de precisión	8

1.5.2.1.	Teodolito	8
1.5.2.2.	Nivel.....	9
1.5.2.3.	Estación total	10
1.5.2.4.	GPS.....	10
2.	USO DEL NIVEL.....	13
2.1.	Definición de nivelación.....	13
2.2.	Métodos de nivelación.....	14
2.2.1.	Nivelación diferencial	14
2.2.2.	Nivelación taquimétrica.....	20
2.2.3.	Nivelación barométrica	25
2.3.	Tipos de nivel	26
2.3.1.	Partes y componentes del instrumento	26
2.4.	Control de nivelaciones	31
2.4.1.	Errores	32
2.4.1.1.	Paralaje	32
2.4.1.2.	Curvatura terrestre.....	32
2.4.1.3.	Refracción atmosférica	32
2.4.2.	Compensación.....	34
3.	ESTACIÓN TOTAL	37
3.1.	Funciones principales del instrumento.....	37
3.2.	Partes y componentes del instrumento.....	39
3.3.	Tipos de estaciones totales	44
3.3.1.	Estaciones totales automáticas.....	45
3.3.2.	Estaciones totales robóticas	45
3.4.	Tipos de mediciones.....	46
3.4.1.	Distancias	48
3.4.2.	Ángulos	50

3.4.3.	Niveles	52
3.5.	Fuentes de error	52
3.6.	Instalación y preparación del instrumento	57
3.7.	Programas para procesamiento de datos	62
4.	GPS	65
4.1.	Configuración del sistema de posicionamiento global	66
4.1.1.	Segmento espacial.....	66
4.1.2.	Segmento del usuario	70
4.1.3.	Segmento de control	71
4.2.	Tipos de receptores GPS.....	73
4.3.	Funcionamiento del sistema	81
4.4.	Fuentes de error	88
4.4.1.	Refracción.....	90
4.4.2.	Error de trayectoria múltiple	92
4.4.3.	Errores de satélite y receptor	94
4.5.	Métodos de levantamiento	96
4.5.1.	Método estático.....	97
4.5.2.	Método estático rápido.....	98
4.5.3.	Método cinemático	99
4.5.4.	Método cinemático en tiempo real (RTK)	101
4.6.	Procesamiento de datos	102
5.	EJECUCIÓN DE MEDICIONES	105
5.1.	Levantamiento con estación total.....	106
5.1.1.	Datos obtenidos	106
5.1.2.	Procesamiento de datos.....	108
5.2.	Levantamiento con nivel	111
5.2.1.	Datos recolectados	112

5.2.2.	Procesamiento de datos recolectados	116
5.3.	Levantamiento mediante GPS.....	121
5.3.1.	Datos obtenidos.....	122
5.3.2.	Procesamiento de datos	123
6.	RESULTADOS Y ANÁLISIS COMPARATIVO	127
6.1.	Comparación entre los levantamientos topográficos con nivel, estación total y GPS	127
6.1.1.	Tiempos de trabajo	128
6.1.2.	Mediciones	130
6.1.2.1.	Distancias	130
6.1.2.2.	Polígonos.....	131
6.1.2.3.	Nivelación	131
6.2.	Ventajas y desventajas.....	134
6.3.	Resultados	135
	CONCLUSIONES	137
	RECOMENDACIONES	141
	BIBLIOGRAFÍA	143
	APÉNDICES	149
	ANEXOS	151

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Método de nivelación diferencial simple	15
2.	Nivelación diferencial compuesta	17
3.	Nivelación geométrica	21
4.	Retícula del teodolito	22
5.	Nivel de tubo y nivel de burbuja	27
6.	Nivel de mano y clisímetro	28
7.	Partes de un nivel automático	29
8.	Nivel digital y estadal con código de barras.....	31
9.	Funcionamiento de una estación total	39
10.	Accesorios para una estación total.....	40
11.	Partes principales de una estación total Trimble M3	43
12.	Pantalla de medición básica.....	48
13.	Principio para medición de distancias horizontal	49
14.	Sistema de medición angular basado en codificador óptico	51
15.	Ejes de una estación total	53
16.	Errores instrumentales en las mediciones con estación total	55
17.	Colocación del trípode y centrado de la estación total.....	59
18.	Nivelación de una estación total	60
19.	Aros del ocular	61
20.	Configuración de satélites del segmento espacial	67
21.	Satélite artificial	68
22.	Ubicación de los segmentos de control	72
23.	Segmentos del sistema de posicionamiento global	73

24.	Clasificación de los receptores GPS	75
25.	Navegador GPS convencional	77
26.	GPS submétrico marca Trimble	78
27.	Receptor GPS de doble o monofrecuencia	80
28.	Primera fase de la trilateración satelital	82
29.	Segunda fase de la trilateración satelital.....	82
30.	Tercera fase de la trilateración satelital.....	83
31.	FÚltima fase de la trilateración satelital.....	84
32.	Medición del tiempo de la señal de radio GPS.....	85
33.	Efecto de trayectoria múltiple en el sistema GPS	93
34.	Esquema del GPS Diferencial	95
35.	Metodología para realizar levantamiento cinemático	101
36.	Simbología utilizada para las estaciones	107

TABLAS

I.	Libreta de campo para nivelación diferencial compuesta	19
II.	Errores permitidos en nivelación.....	20
III.	Libreta de campo para nivelación geométrica.....	23
IV.	Indicadores del modo de medición	47
V.	Clasificación de los errores GPS	90
VI.	Procesamiento de datos con estación total.....	109
VII.	Datos recolectados de la medición con nivel de precisión	113
VIII.	Análisis de datos de la libreta de campo con nivel de precisión	117
IX.	Procesamiento de datos levantamiento con GPS	124
X.	Datos de los bancos de marca utilizados.....	127
XI.	Resultados obtenidos	136

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
H_{BM}	Altura banco de marca
HI	Altura del instrumento
cm	Centímetros
Δt	Desfase de tiempo de la onda portadora
S	Desplazamiento
HI	Hilo inferior
HM	Hilo medio
HS	Hilo superior
$\pm$	Incertidumbre
km	Kilómetros
L_o	Lectura inicial
Λ	Longitud de onda portadora
m	Metros
msnmm	Metros sobre el nivel medio del mar
mm	Milímetros
N_{BM}	Nivel banco de marca
ppm	Partes por millón
PV	Punto de vuelta
T	Tiempo
V	Velocidad
L	Velocidad de onda portadora
VA	Vista atrás
VI	Vista intermedia

GLOSARIO

Azimut	Es un ángulo horizontal medido en el sentido de las manecillas del reloj a partir de un meridiano de referencia.
BM	Banco de marca. Punto referenciado geodésicamente fijo sobre el terreno.
Cota	Elevaciones de los puntos con respecto a una superficie que se toma como referencia.
Cenit	Punto del hemisferio celeste situado sobre la vertical del observador.
CEP	Error circular probable, es una medida estadística de precisión.
C/A	Código C/A.
Datum	Conjunto de puntos de referencia en la superficie terrestre.
DIN	Instituto Alemán de Normalización.
EDM	Instrumento electrónico para medición de distancias horizontales.

Elipsoide	Modelo físico matemático que representa a la Tierra.
Frecuencia	Número de veces que aparece, sucede o se realiza una cosa durante un periodo determinado.
Geoide	Superficie equipotencial de referencia, hipotéticamente coincidente con el nivel medio del mar en calma.
GNSS	Sistema global de navegación por satélite, es una constelación de satélites que transmiten señales utilizados para posicionamiento y localización.
IGN	Instituto Geográfico Nacional de Guatemala.
Ionosfera	Capa de la atmósfera terrestre que se extiende entre los 80 y 500 km de altitud; en esta tienen lugar abundantes procesos de ionización.
Línea de colimación	La retícula que es la cruz que se observa en el telescopio.
NORAD	Acrónimo del Mando Norteamericano de Defensa Aeroespacial.
TEC	Contenido total de electrones, sirve para determinar las principales fuentes de error en GPS.

RESUMEN

El presente trabajo se compone de seis capítulos; en los cuales el primero aborda las generalidades de la topografía, sus respectivas divisiones entre planimetría y altimetría, tipos de errores y los instrumentos topográficos.

Los capítulos segundo, tercero y cuarto tratan sobre los equipos, nivel de precisión, estación total y GPS, respectivamente. En cada sección correspondiente a estos instrumentos se presentan, sus partes, su método de aplicación para levantamientos topográficos, los errores influyentes al realizar las mediciones y el respectivo proceso de gabinete que se le debe brindar a los datos obtenidos en campo.

En el capítulo 5 se presentan los datos obtenidos del levantamiento altimétrico de un mismo perfil topográfico mediante los instrumentos de nivel de precisión, estación total y GPS. Posteriormente, estos datos son procesados en el capítulo 6, donde se analizan los tiempos de trabajo con cada equipo, las ventajas y desventajas al aplicar uno u otro; para, finalmente, realizar la comparación altimétrica con los datos brindados por el IGN (Instituto Geográfico Nacional) para determinar cuál de los tres equipos es el más exacto en cuanto a altimetría.

OBJETIVOS

General

Realizar el análisis comparativo de levantamientos altimétricos por GPS, estación total y método de nivelación diferencial.

Específicos

1. Desarrollar mediciones con el método de nivelación diferencial para establecer los factores, las técnicas adecuadas y los problemas comunes que intervienen en este tipo de levantamiento topográfico.
2. Analizar mediciones topográficas por medio de estación total para estudiar y determinar los factores que intervienen y los métodos adecuados para el análisis de datos.
3. Efectuar levantamientos por medio de GPS para describir las técnicas, los procedimientos y los problemas en este tipo de medición topográfica.
4. Comparar los datos obtenidos mediante los métodos a fin de establecer criterios sobre exactitud y eficacia; también, analizar las ventajas y desventajas de cada una de las mediciones.

INTRODUCCIÓN

La topografía es una disciplina que inicia en el campo con la recolección de datos para ubicar puntos en el espacio; al proceso de medición de cualquier porción de tierra se le denomina levantamiento topográfico; es importante mencionar que todo levantamiento se divide en planimetría (control horizontal) y altimetría (control vertical), los cuales se pueden realizar con diversos instrumentos de medición.

Los instrumentos más comunes son la cinta métrica, estatal, plomada, el teodolito, nivel diferencial, estación total y el sistema de posicionamiento global, GPS, por sus siglas en inglés. Es importante la eficacia con la que se realizan los levantamientos tanto de planimetría como de altimetría; esto depende del tipo de instrumento que se emplea, la incerteza del dispositivo, el método que se utiliza para el levantamiento y el análisis posterior de los datos recolectados, pero, ¿cuál entre los equipos GPS, estación total y nivel de precisión es más eficaz en cuanto a medición de elevaciones o niveles?, ¿qué método es más exacto comparándolo uno con otro?

Para desarrollar el presente trabajo de graduación se realizaron mediciones con tres dispositivos distintos: GPS, estación total y nivel de precisión; los levantamientos se ejecutaron para un perfil ubicado dentro del campus universitario; los datos de los bancos de marca correspondiente al punto de partida y al punto final fueron brindados por el Instituto Geográfico Nacional de Guatemala (IGN), con lo cual se realizó el análisis comparativo para determinar las interrogantes mencionadas anteriormente.

1. GENERALIDADES

1.1. Concepto de topografía

La topografía es la ciencia y el arte que brinda las posiciones de puntos físicos sobre la superficie terrestre. En un concepto más completo y generalizado la topografía es la ciencia que proporciona los instrumentos, las técnicas y los métodos para realizar mediciones, con la finalidad de plasmar la información recolectada en planos. Estos aspectos se obtienen con la medición de distancias, ángulos y elevaciones; que después de un análisis y depuración de datos, son utilizados para el cálculo de áreas, volúmenes y otras cuantificaciones.

Es necesario conocer dos ciencias con las cuales la topografía tiene estrecha relación: la geodesia y la cartografía; la primera realiza mediciones de la tierra tomando en cuenta su forma y curvatura; mientras que la cartografía es la representación de esas medidas sobre una carta o mapa. Es indispensable hacer énfasis en que la topografía realiza mediciones de superficies pequeñas y con la suposición de que son planas; mientras que la geodesia y la cartografía miden y representan grandes porciones de tierras, continentes o el globo terráqueo completo tomando en cuenta su forma.

1.2. Breve historia de la topografía

No se cuenta con registros del origen exacto o nacimiento de la topografía. Pero debido a las culturas antiguas se piensa que desde épocas antes de Cristo ya se utilizaban métodos para medición de superficies. La topografía está aunada al concepto de tenencia o posesión de tierras, ya que desde el antiguo Egipto se realizaban marcas a orillas del río Nilo para que luego de las inundaciones anuales, los egipcios pudieran conocer los límites de sus propios terrenos. Otras culturas que fueron Pioneras en las mediciones fueron los griegos que desarrollaron el tema de la geometría y los romanos con sus ingeniosos instrumentos.

1.3. División de la topografía

Las actividades principales de la topografía se realizan en campo y gabinete; el trabajo de campo comprende todo lo relacionado a la recolección de datos, mientras que en gabinete se realiza todo lo relacionado al procesamiento de datos, cálculos y planos. A estas dos operaciones en conjunto se les conoce como levantamientos topográficos.

Para un estudio más completo y sencillo, la topografía se divide en planimetría y altimetría; el estudio por separado brinda un panorama mucho más amplio de lo que se realiza en cada uno, para realizar cualquier tipo de levantamiento topográfico es necesario que se utilicen ambos para conformar los planos respectivos.

1.3.1. Planimetría

La planimetría o control horizontal se caracteriza por ubicar puntos, proyectados en una superficie horizontal ignorando así su elevación. En esta primera división de la topografía se realizan mediciones tanto de distancias, direcciones y ángulos, todos horizontales.

Las distancias se pueden medir mediante métodos directos o indirectos; entre los métodos directos se pueden mencionar la cinta métrica, el distanciómetro (se basa en la velocidad de ida y vuelta de ondas electromagnéticas del instrumento a un prisma) el odómetro (consiste en una rueda con diámetro definido y que con un contador de vueltas indica las medidas realizadas); uno de los métodos indirectos más utilizados es el de taquimetría el cual se desarrolla en capítulos posteriores.

Las orientaciones en los linderos y distancias se determinan mediante instrumentos especializados: las brújulas, los teodolitos y la estación total que actualmente es la más utilizada.

1.3.2. Altimetría

La altimetría o control vertical se caracteriza por ubicar puntos en una proyección vertical para conocer las diferencias de nivel entre puntos del terreno. Generalmente, estos niveles se hacen con base en planos de comparación como el nivel medio del mar. A las cotas de nivel se les llama elevaciones o alturas.

Así mismo, para obtener las diferencias de nivel se tiene métodos directos e indirectos, entre los métodos directos tenemos la nivelación diferencial y entre

los métodos indirectos está la taquimetría y la nivelación barométrica (que utiliza altímetros); estos temas se desarrollarán con detalle en el capítulo 2 subtitulo 2.2.

En todo levantamiento se hace necesario tener puntos de referencia o de control, los cuales usualmente son conocidos como bancos de marca o bancos de nivel (regularmente son fichas circulares de bronce); su cota se define de manera arbitraria o bien se puede determinar la altura y las coordenadas de dicho banco de marca en el IGN (Instituto Geográfico Nacional) según sean las exigencias del proyecto.

1.4. Errores y factores determinantes en levantamientos topográficos

El principio fundamental de la topografía es que ninguna medida es exacta y, por lo tanto, nunca se conoce el valor verdadero de una medición; siendo esto cierto es necesario ajustar las mediciones hechas para que con base en la teoría estas cumplan con los estándares exactos.

La necesidad de precisión en los levantamientos topográficos resulta obvio cuando se habla de construcción de edificios, puentes, presas o instalación de equipo especial; sin embargo, esta precisión también es necesaria en la medición de terrenos ya que el valor por la posesión de la tierra es alto, por lo tanto, es indispensable que el topógrafo realice mediciones exactas y precisas.

- Exactitud: es el grado de perfección de una medida. Representa que tanto se acercó el valor medido al valor real.
- Precisión: se refiere a la cercanía de una medición con relación a otra, es decir el grado de refinamiento de todas las mediciones hechas.

Sintetizando los conceptos anteriores se puede decir que una medida puede ser precisa pero no exacta y viceversa; las fuentes de error pueden ser clasificadas en: personales, instrumentales y debido a la naturaleza. Así mismo, estas pueden llegar a formar parte de algunos de los siguientes tipos de errores.

1.4.1. Errores sistemáticos

También llamados errores acumulativos, dependen de los factores del sistema de medición: observador, instrumento y medio ambiente. Si las condiciones del medio se mantienen constantes, entonces, los errores sistemáticos serán constantes. Un ejemplo muy sencillo consiste en una cinta métrica que posee un excedente de 0,01 m, realizando una serie de medidas con esta cinta se acumulará el error, pero este puede ser corregido ya que se mantuvo constante en todas las mediciones.

1.4.2. Errores accidentales

También, se les denomina errores aleatorios, son los que quedan después de haber eliminado los errores sistemáticos. La magnitud y dirección de estos tipos de error quedan fuera del control del topógrafo y obedecen a las leyes de probabilidad. Un ejemplo claro se presenta cuando una persona toma la lectura de una cinta, no puede hacerlo perfectamente; en la primera ocasión podrá leer un valor grande, después un valor pequeño y viceversa.

Todos los levantamientos topográficos están normados para reducir los errores en la mediciones; esto se puede lograr empleando observadores experimentados o bien se puede realizar varias veces una misma medida para

que al momento que hayan incongruencias se puede verificar con los otros datos registrados.

1.5. Instrumentos topográficos

El equipo utilizado para levantamientos topográficos ha sufrido grandes cambios en las últimas décadas; en el año de 1960 con la medición electrónica de distancias, posteriormente combinaron la medición de ángulos con la medición electrónica de distancias surgiendo así las estaciones totales.

En la actualidad, se cuenta con el sistema de posicionamiento global (GPS) por sus siglas en inglés, estaciones totales robóticas y drones con levantamientos por medio de fotografía aérea; a continuación, se realiza una breve descripción de los instrumentos más importantes para realizar un levantamiento topográfico.

1.5.1. Instrumentos simples

1.5.1.1. Cinta métrica

Actualmente, se utiliza para medir distancias horizontales pequeñas, aplicada a levantamientos comunes de terrenos y construcción de edificios. Existen de dos tipos: la cinta de acero o metálica y la cinta de tela; generalmente vienen en presentaciones de 30, 50, 100 y 150 metros.

Para realizar una medición horizontal con cinta se requiere de seis pasos: (1) alineación, (2) aplicación de tensión, (3) aplome, (4) marcaje de tramos, (5) lectura de la cinta y (6) registro de la distancia. Además, se deben utilizar instrumentos auxiliares para realizar una medición adecuada: plomadas, para

verificar la verticalidad del punto medido; nivel de mano, sirve para corroborar que la cinta se encuentre perfectamente horizontal; termómetro de bolsillo, para realizar las respectivas correcciones por temperatura y las estacas que sirven para marcar los extremos de la cinta en los puntos intermedios mientras se realiza la medición.

1.5.1.2. Plomada

Es un peso aunado a un cordel para establecer una línea vertical. Se utiliza en la medición de distancias y ángulos, están hechas de acero o latón, prefiriéndose estas últimas ya que no interfiere en la lectura de la brújula, asimismo pesan de 6 a 18 onzas, con forma globular o de pera con punta reemplazable por si se desgasta.

1.5.1.3. Estadal

Es una regla graduada tomando un valor de cero desde la parte inferior, se utiliza para medir alturas verticales, tomando estas lecturas a partir del telescopio del instrumento, que puede ser un teodolito o un nivel. Están hechos de madera, metal o fibra de vidrio; además vienen en diferentes presentaciones tales como: de varias piezas, secciones deslizantes o de bisagra.

1.5.1.4. Brújula

Es un instrumento que brinda la posición del norte magnético de la tierra y, por consiguiente cualquier dirección con relación a este. Consta de tres partes esenciales: aguja imantada movable, la cual brinda la dirección; limbo o esfera graduada, que es el círculo donde gira la aguja, utiliza el sistema sexagesimal el cual divide el limbo en 360 grados; y por último está la caja o chasis, el espacio

donde se encuentran protegidas las partes anteriormente descritas. Existen brújulas de bolsillo y las de agrimensor, esta última va montada sobre un trípode y puede ser utilizada para levantamientos de muy poca precisión, como los reconocimientos preliminares. Es importante recordar que las brújulas tienen las direcciones este y oeste intercambiados por el movimiento aparente de la aguja así como un contrapeso el cual apunta hacia el sur si estamos al norte del ecuador y viceversa.

1.5.1.5. Barómetro

Es un instrumento utilizado en la rama de la meteorología para medir la presión atmosférica, existen dos tipos: el barómetro de mercurio y el barómetro aneroide; el primero brinda la presión según la altura de columna de mercurio en un tubo al vacío, mientras que el segundo mide la presión por medio de la deformación de una cápsula; dicha deformación es transformada por medios mecánicos a una lectura equivalente de presión en un tablero circular graduado. La utilización del barómetro para nivelación se explicará en capítulos posteriores.

1.5.2. Instrumentos de precisión

1.5.2.1. Teodolito

Es un aparato utilizado en levantamientos topográficos para realizar medición directa de ángulos horizontales, verticales y medición indirecta de distancias verticales y horizontales por medio de la taquimetría. Consta de dos círculos graduados de vidrio, uno horizontal y el otro vertical, para poder medir los giros del telescopio y los ángulos respectivos; los teodolitos electrónicos brindan la información de los ángulos directamente en una pantalla.

El instrumento está compuesto de una alidada montada sobre una base, la base tiene tres tornillos de nivelación y un nivel de burbuja y cuenta con un nivel colocado a un costado de la alidada; todo el sistema va montado sobre un trípode. Los pasos para instalar un teodolito son los siguientes: (a) se coloca el tripié sobre el punto en cuestión dejando el plato nivelado de forma aproximada; (b) se saca el teodolito y se coloca en el tripié, fijando el tornillo para centrar, evitando así que se caiga el teodolito; (c) se coloca el tripié lo más cerca posible del punto deseado y luego se perfecciona el centrado con la plomada óptica; (d) ahora se debe nivelar el teodolito con el nivel de burbuja y se procede a un centrado más preciso con el nivel de plato, para esto se coloca la alidada de forma que el tubo de nivel quede paralelo a dos tornillos de nivelación, se ajustan, y luego se gira 90° y se nivela con el tercer tornillo; (e) por último, se verifica que la plomada óptica coincida con el punto en cuestión, sino es así entonces se afloja el tornillo para centrar, se mueve el teodolito hasta que coincida el punto con la plomada óptica y listo.

1.5.2.2. Nivel

Es un instrumento utilizado en topografía para conocer cotas de la superficie terrestre. Consta de un telescopio, para fijar la línea visual y aumentar el tamaño del objeto observado; un nivel de burbuja, que al centrarla se puede cerciorar que la línea de la visual sea totalmente horizontal. Existen diversos tipos de nivel:

- Nivel análogo: es el de tipo convencional, consta de un telescopio, nivel de burbuja y tornillos de nivelación; todo el sistema va montado sobre un trípode; las lecturas del estadal se toman desde el telescopio que cuenta con la lente del objetivo (colocada en el extremo frontal) y el ocular (se encuentra en el extremo del observador). Es importante mencionar que las

lecturas se toman haciendo coincidir la intersección de los hilos del telescopio (línea de colimación) con el punto observado.

- Nivel laser: es un instrumento sofisticado que proyecta líneas o planos láser de forma vertical y horizontal. Los niveles láser de planos se proyectan mediante un eje rotatorio y son utilizados para nivelación de terrenos agrícolas, trazo de pendientes de carreteras y estacionamientos. Los niveles laser de línea emiten una luz fija horizontal o vertical y son utilizadas para control de nivelaciones, pendientes, construcción de túneles y tuberías.

1.5.2.3. Estación total

Es un aparato utilizado en levantamientos topográficos poligonales, realización de planos topográficos y trazos de obra de construcción. Es una combinación de un teodolito, un medidor electrónico de distancias EDM, por sus siglas en inglés, y un equipo con la capacidad de realizar cálculos para determinar distancias horizontales, verticales e inclinadas. Un estudio más profundo se realiza en capítulos posteriores.

1.5.2.4. GPS

El sistema de posicionamiento global GPS, por sus siglas en inglés, consta de una red de 27 satélites orbitales y cinco estaciones terrestres de monitoreo; se utiliza para conocer la posición sobre cualquier punto sobre la superficie terrestre. El proceso utilizado para determinar cualquier ubicación se basa en la comunicación de un receptor colocado en tierra con 4 satélites orbitales; los satélites envían señales de radio a los receptores; conociendo la velocidad de la señal, se puede determinar el tiempo requerido de viaje; multiplicando esto por la velocidad de la luz se puede determinar la ubicación

del punto de interés. Los satélites están ubicados a una altura de 12 600 millas, pesan alrededor de 1 900 lb, tienen una envergadura aproximada de 17 ft, y la velocidad de la señal es de 186 000 millas por segundo. Un análisis más detallado se realiza en capítulos posteriores.

2. USO DEL NIVEL

2.1. Definición de nivelación

La nivelación es un término que se aplica a todos los procedimientos que se utilizan para obtener niveles de puntos específicos del terreno, así como las diferencias entre ellos. Existen diversos instrumentos utilizados en la realización de nivelaciones, tal es el caso de los niveles de precisión, los barómetros, los teodolitos y los equipos más sofisticados como la estación total y el GPS.

La nivelación es un proceso importante y necesario para realizar levantamientos de poligonales, diseño de carreteras, vías férreas, líneas de conducción, proyectos de agua potable, sistemas de alcantarillado y construcción de edificios. Así mismo, la nivelación es utilizada en levantamientos de control vertical, que sirve para distribuir una red de bancos de nivel sobre una superficie para trabajos de topografía o geodesia. Según Federal Geodetic Control Committee existen tres categorías para los trabajos de control vertical y horizontal:

- Levantamientos de primer orden: se caracterizan por poseer la mayor precisión y son utilizados en obtener la red principal de control nacional, estudios científicos, construcción de presas y defensa militar.
- Levantamientos de segundo orden: son de menor precisión que los de primer orden y se caracterizan por utilizarse en control metropolitano, límite de mareas, carreteras interestatales y el movimiento de la corteza.

- Levantamientos de tercer orden: son de menor precisión que los levantamientos de segundo orden, se utilizan para pequeñas obras de ingeniería y mapas topográficos a pequeña escala.

2.2. Métodos de nivelación

Existen diversos métodos para determinar los niveles de una porción de tierra; estos dependen del instrumento utilizado, la topografía del lugar, el tiempo disponible, el tipo y la naturaleza del proyecto. De acuerdo con los aspectos anteriores se puede elegir entre método de nivelación directa (nivelación diferencial, estación total y GPS) e indirecta (nivelación taquimétrica y barométrica).

2.2.1. Nivelación diferencial

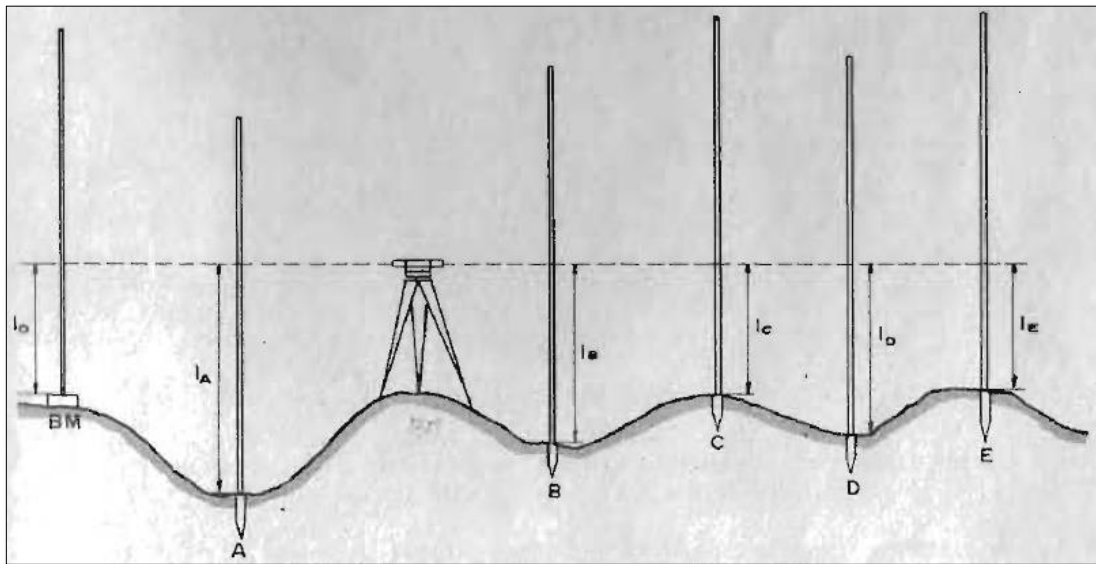
Se le conoce también como nivelación geométrica o directa y se define como el sistema para encontrar la diferencia de nivel entre dos puntos situados sobre el terreno; es el más utilizado en el campo de la ingeniería ya que es un método simple, eficaz y permite conocer desniveles por medio de lectura directa de distancias verticales.

Se necesita de un nivel de precisión, estacas, plomadas, estadales y la respectiva libreta de campo para su realización; primero se debe colocar el nivel en un punto conveniente; luego posicionar el estadal en el punto de interés, mediante el telescopio del nivel registrar las alturas del estadal en una libreta; se repite esto para todas las estaciones que se coloquen y mediante ciertas operaciones se determinan las cotas de los puntos observados; existen dos tipos de nivelación diferencial:

- Nivelación diferencial simple

Este método es utilizado en terrenos de pequeña dimensión, relativamente llanos y se caracteriza por que desde una sola posición del instrumento se pueden tomar todas las lecturas verticales del terreno a nivelar. En la figura 1 se muestra la aplicación de este método y a continuación se explica su procedimiento.

Figura 1. **Método de nivelación diferencial simple**



Fuente: TORRES, Álvaro. *Topografía*. p. 147.

- El nivel de precisión se coloca en el punto que brinde las mejores condiciones de visibilidad; la primera lectura (l_0) se hace sobre el banco de marca (BM), el cual servirá como referencia para nivelar todos los demás puntos del terreno. La lectura sobre un punto de cota conocida se denomina vista atrás (VA).

- Ahora se procede a determinar la altura del instrumento (HI) sumando la altura del banco de marca (BM) con la primera lectura (l_o), así:

$$HI = BM + l_o.$$

- Para determinar el nivel de los puntos A, B, C, D y E se debe restar a la altura del instrumento (HI), las lecturas correspondientes a cada punto observado (l_A , l_B , l_C), así:

$$COTA_A = HI - l_A$$

$$COTA_B = HI - l_B$$

Las lecturas sobre los diferentes puntos (l_A , l_B , l_C) se conocen como vistas intermedias (VI).

- Nivelación diferencial compuesta

Este método es utilizado en grandes extensiones de terreno donde no es posible conocer todas las cotas de los puntos observados con una sola posición del instrumento; también, se puede emplear donde el terreno sea quebrado o las visuales sean muy largas.

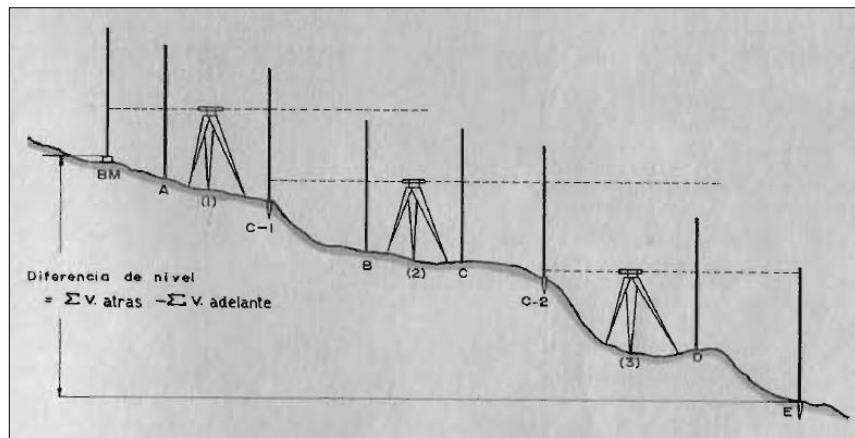
El nivel de precisión no permanece en una sola posición sino que se va trasladando a diferentes sitios donde se realizan nivelaciones simples; estas nivelaciones van unidas mediante puntos en común llamados puntos de vuelta (PV). Un punto de vuelta se puede definir como un banco de marca transitorio y debe estar en un sitio estable sin riesgo de sufrir ningún tipo de desplazamiento.

La terminología básica a utilizar en las libretas de campo, en levantamientos de esta naturaleza es la siguiente:

- Vista atrás: es la lectura que se hace sobre el banco de marca (BM) y sirve para encontrar la altura del instrumento.
- Vista intermedia: es la lectura que se realiza a los demás puntos de interés, restando esta, a la altura del instrumento (HI) se determina las cotas de los puntos correspondientes.
- Puntos de vuelta: se realiza esta lectura para encontrar la cota del banco de marca transitorio para utilizarla en la siguiente posición del instrumento.

En la figura 2 se muestra la aplicación de este método y a continuación se explica su procedimiento.

Figura 2. Nivelación diferencial compuesta



Fuente: TORRES, Álvaro. *Topografía*. p. 149.

- Centrar y nivelar el instrumento en un punto conveniente (1) y realizar la primera lectura sobre el banco de marca (BM), colocando esta lectura como vista atrás (VA).
- Determinar la altura del instrumento (HI), sumando la cota del banco de marca con la vista atrás (VA).
- Luego visar hacia los demás puntos de interés, registrar las lecturas como vistas intermedias (VI) y determinar sus cotas restando a la altura del instrumento (HI), las vistas intermedias (VI) correspondientes.
- Cuando ya no es posible hacer más lecturas desde la posición de nuestro aparato, se busca un punto de cambio (C-1 en la figura 2), sobre el cual se lee la mira y se registra este dato como punto de vuelta (PV).
- Se traslada el aparato a una segunda posición (2), donde se pueda visar el punto de vuelta (C-1) y la mayor cantidad de puntos de interés. Se nivela el aparato y se toma una nueva lectura hacia el punto de cambio (C-1), se registra como vista atrás (VA) y se determina la nueva altura del instrumento (HI) así:

$$HI = COTA_{C-1} + VA_{C-1}$$

- Se repite el procedimiento anteriormente descrito.

En la tabla I, se muestra un ejemplo de la configuración de la libreta de campo utilizada en la nivelación diferencial compuesta; dicha tabla cuenta con la simbología siguiente: altura (H), nivel (N) y los subíndices están con base en

la figura 2; algo importante que se debe resaltar es que el último punto observado de toda la medición se debe anotar como punto de vuelta (PV).

Tabla I. **Libreta de campo para nivelación diferencial compuesta**

EST.	PO.	VA (+)	HI	VI (-)	PV	COTA	Descripción
1	BM	H_{BM}	$HI_1 = N_{BM} + H_{BM}$			N_{BM}	
1	A		HI_1	H_A		$N_A = HI_1 - H_A$	
1	C-1		HI_1		H_{C-1}	$N_{C-1} = HI_1 - H_{C-1}$	
2	C-1	H_{C-1}	$HI_2 = N_{C-1} + H_{C-1}$				
2	B		HI_2	H_B		$N_B = HI_2 - H_B$	
2	C		HI_2	H_C		$N_C = HI_2 - H_C$	
2	C-2		HI_2		H_{C-2}	$N_{C-2} = HI_2 - H_{C-2}$	

Fuente: elaboración propia.

El chequeo de la libreta se realiza para verificar que no se haya cometido ningún error aritmético o bien algún error de ordenamiento de datos, este se realiza restando de la sumatoria de las vistas atrás, respecto de la sumatoria de los puntos de vuelta; este resultado debe ser igual a la diferencia de la cota de la primera estación y la última, así:

$$\left| \sum VA - \sum PV \right| = |COTA_{INICIAL} - COTA_{FINAL}|$$

En este chequeo no se permite ningún tipo de incerteza, el resultado de la izquierda de la igualdad debe ser igual al de la derecha de la misma; se debe tomar en cuenta que con este chequeo solo se verifica que los datos de la libreta se operaron correctamente, no se determina el error en la nivelación física.

Para verificar si la nivelación está bien hecha, se tienen dos casos: que el levantamiento sea un circuito cerrado o bien que el levantamiento sea un circuito abierto. Si se cuenta con un circuito cerrado se debe comparar la cota de salida con la cota de llegada y verificar si la diferencia se encuentra dentro de los parámetros de la tabla II; mientras que, si el levantamiento es un circuito abierto y se necesita verificar el error, entonces se debe hacer una contra nivelación, que no es más que volver a realizar la nivelación en sentido contrario para luego comparar la cota del banco de marca; con la cota obtenida en la contra nivelación y verificar que cumpla con los datos de la tabla II (donde k = distancia total nivelada en kilómetros, de ida y vuelta para los casos donde se realiza contra nivelación).

Tabla II. Errores permitidos en nivelación

CLASE DE NIVELACION	Longitud de la visual máxima	Aproximación en la lectura de la mira	Error Máximo en centímetros
Poca Precisión	300 mts.	5 centímetros	$9.5\sqrt{K}$
Ordinaria	150 "	0.5 "	$2.4\sqrt{K}$
Precisión	100 "	0.1 "	$1.2\sqrt{K}$
Geodésica 2o. orden	100 "	" "	$0.8\sqrt{K}$
Geodésica 1er. orden	100 "	" "	$0.4\sqrt{K}$

Fuente: TORRES, Álvaro. *Topografía*. p. 149.

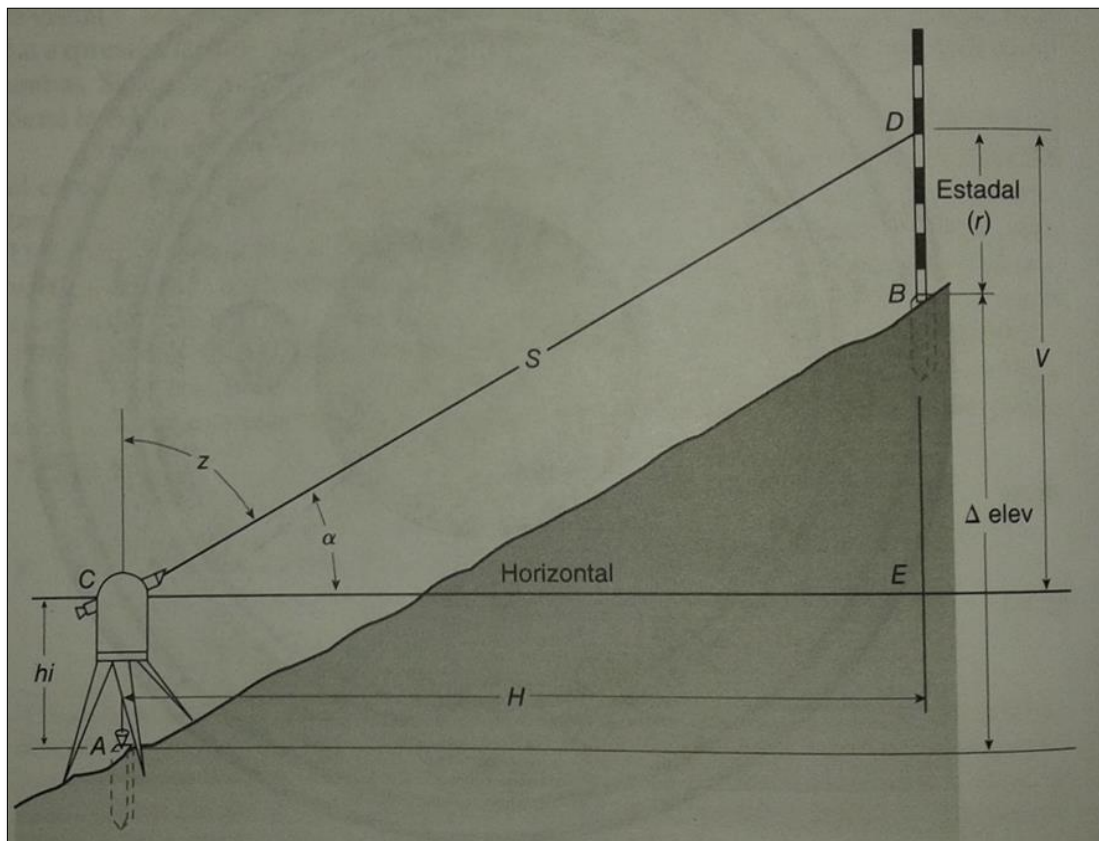
2.2.2. Nivelación taquimétrica

Se utiliza en terrenos demasiado irregulares, quebrados o con pendientes grandes; donde realizar un levantamiento con nivel sería difícil. Para realizar este tipo de medición se necesita un teodolito, estadal, plomada, estacas y la respectiva libreta de campo. Primero, se procede a centrar y nivelar el teodolito en la primera estación (banco de marca); luego, se debe posicionar el estadal

en el punto de interés, se observa la lectura con el telescopio del teodolito y se registra esta lectura así como la altura del instrumento (hi); esto se repite en todas las estaciones donde se coloque el teodolito; se puede apreciar lo anteriormente descrito en la figura 3.

Como se puede apreciar en la figura 3, los datos que se anotan en la libreta de campo son la altura del instrumento (hi), la lectura del estadal (r), el ángulo cenital o ángulo vertical y la distancia horizontal o inclinada.

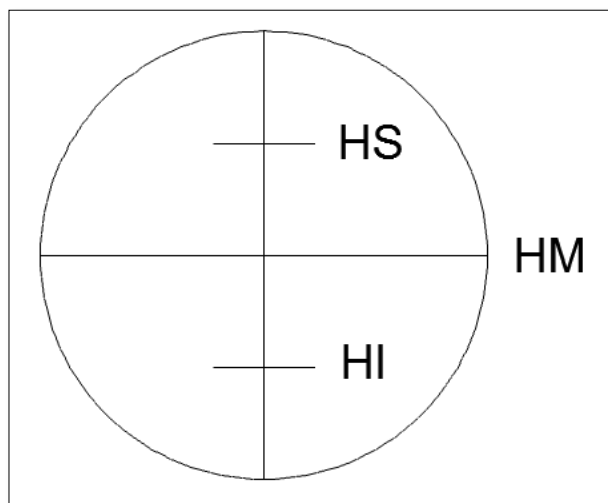
Figura 3. Nivelación geométrica



Fuente: WOLF, Paul. *Topografía*. p. 80.

Las distancias se toman de manera indirecta, ya que las irregularidades del terreno impiden tomar distancias inclinadas o distancias horizontales exactas; por esta razón, se prefiere utilizar el método taquimétrico para distancias horizontales. La retícula del teodolito cuenta con dos líneas: una se encuentra arriba y la otra debajo de la línea de colimación; estas se conocen como hilo superior (HS) e hilo inferior (HI), respectivamente; mientras que la línea de colimación se llama hilo medio (HM); estas se pueden apreciar en la figura 4.

Figura 4. **Retícula del teodolito**



Fuente: elaboración propia.

Se hacen coincidir estos hilos con el estadal, se anotan las lecturas del hilo superior, medio e inferior y luego se realiza la verificación de los datos tomados con la siguiente ecuación:

$$HM = \frac{HS + HI}{2}$$

El valor de la ecuación anterior se compara con el hilo medio (HM) de las notas de campo, se permite una incerteza de ± 1 mm. Si la diferencia es mayor a la permitida se debe realizar nuevamente la lectura de los hilos hasta que quede dentro del rango; la distancia horizontal se realiza de manera indirecta con los datos anteriores. En la tabla III se puede observar una libreta de campo utilizada en este tipo de levantamientos.

Tabla III. **Libreta de campo para nivelación geométrica**

EST.	PO.	hi	Azimut	Hilos taquimétricos			Comprobación	Ángulo cenital
				HS	HM	HI		
A	B	1,45	53°10'05"	1,20	1,48	1,76	$HM = \frac{1,20 + 1,76}{2}$ $HM = 1,48$	45°18'05"

Fuente: elaboración propia.

Resumiendo lo anterior, los datos que se anotan en campo son: hilo medio, superior, inferior (hacer comprobación), anotar ángulo cenital, nombre de las estaciones y punto observado; también, la cota del banco de marca. El procedimiento de gabinete es muy sencillo y se describe a continuación:

- Primero determinar la distancia horizontal con la siguiente ecuación:

$$DH = (HS - HI) * 100 * \sin^2(Z)$$

Donde:

- DH = distancia horizontal en m
 - HS = hilo superior en cm
 - HI = hilo inferior en cm
 - Z = ángulo cenital en grados sexagesimales
- Ahora se procede a determinar los niveles correspondientes a cada estación.

$$N_B = N_A + hi + \frac{DH}{\tan(Z)} - r$$

Donde:

- N_B = cota a determinar en m
- N_A = cota del banco de marca en m
- hi = altura del instrumento en m
- DH = distancia horizontal en m
- Z = ángulo cenital en grados sexagesimales
- r = valor del hilo medio en m

Se debe tomar en cuenta que en la ecuación anterior, el término $\tan(Z)$ será negativo para valores de ángulo cenital mayores a 90° , lo que significa que vamos de un nivel mayor a uno menor (bajada); pero si el ángulo cenital es menor de 90° el término $\tan(Z)$ será positivo lo que implica que se va de una cota menor a otra de mayor nivel. En cualquiera de los dos casos se debe realizar la suma algebraica de los términos, es decir utilizando el signo que corresponda así sea negativo o positivo. Una vez determinados todos los valores anteriores se puede proceder a realizar el respectivo plano, donde se represente el terreno y las curvas de nivel.

2.2.3. Nivelación barométrica

Se utiliza un barómetro para realizar este tipo de medición, el barómetro es un instrumento utilizado para medir la presión atmosférica; el principio que se utiliza en esta nivelación es que la presión del ambiente varía de forma inversamente proporcional a la altura sobre el nivel del mar, así que determinando la diferencia de presión de dos puntos se puede estimar la altura de este sitio respecto del otro.

Existen dos tipos de barómetros los cuales se expusieron en el capítulo anterior: el barómetro de mercurio y el barómetro aneroide. Debido a que el barómetro de mercurio es muy delicado y una lectura toma demasiado tiempo, se utiliza con más frecuencia el barómetro aneroide por ser mucho más pequeño y porque las lecturas se toman de forma rápida. Los barómetros aneroides actuales son conocidos como altímetros y permiten realizar mediciones con solo un metro de error aproximadamente.

Debido a que la presión atmosférica varía con la temperatura y la humedad, es necesario realizar correcciones a las mediciones realizadas. Las técnicas para este tipo de nivelación se pueden realizar con uno, dos o más barómetros; se deja un barómetro en un punto de control y se lleva el instrumento móvil a las demás estaciones. Con el barómetro del punto de control se efectúan lecturas a intervalos determinados, ejemplo a cada 10 minutos; junto con las lecturas se toma la hora, la temperatura y si fuera necesario la humedad del ambiente. Con el barómetro viajero se toman lecturas, temperatura, hora y humedad en cada estación; por último, se deben realizar las correcciones que dependen del tipo de instrumento utilizado ya que las ecuaciones y tablas varían según la precisión y marca del aparato.

2.3. Tipos de nivel

2.3.1. Partes y componentes del instrumento

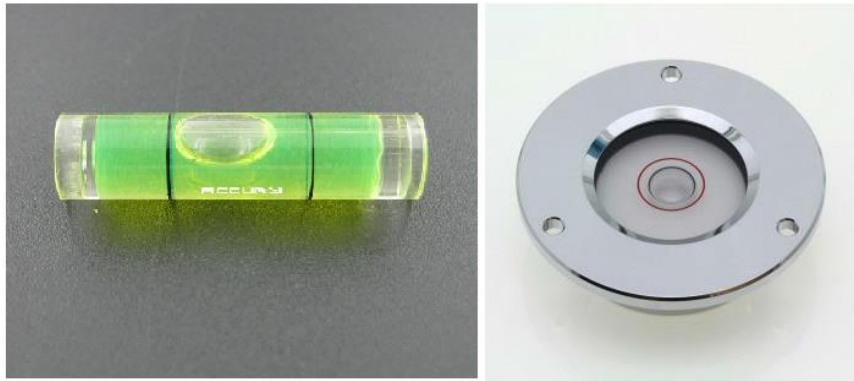
Las partes y componentes de los niveles de precisión utilizados en topografía dependen del tipo de nivel que se está utilizando; los tipos de nivel existentes van desde el nivel de burbuja hasta el nivel digital; el uso de uno u otro depende de la precisión que se requiera, las condiciones del ambiente del área a medir y sobre todo de la capacidad económica de los encargados de hacer los levantamientos; los tipos de niveles disponibles en el mercado son los siguientes:

- Nivel de burbuja

Son los que utilizan la mayoría de instrumentos topográficos para verificar que están completamente horizontales. Existen de dos tipos: el nivel de tubo y el nivel circular (también llamado diana). El nivel de burbuja de diana tiene forma esférica, cuentan con una marca circular en su superficie, si se hace coincidir el líquido que se encuentra adentro con la marca se tiene nivelado preliminarmente e aparato, se utiliza en instrumentos tales como: nivel basculante, nivel automático y estaciones totales.

El nivel de tubo consta de un tubo de vidrio lleno de un líquido sensible, excepto por un pequeño vacío dentro del mismo. El líquido debe ser resistente a los cambios térmicos, de acción rápida y este puede ser alcohol sintético purificado. Se debe observar que el pequeño vacío dentro del tubo quede al centro de los límites marcados sobre el vidrio, así se verifica que el instrumento está perfectamente horizontal; estos dos tipos de nivel se pueden apreciar en la figura 5.

Figura 5. **Nivel de tubo y nivel de burbuja**



Fuente: *Nivel ojo de buey*. <http://www.demaquinasyherramientas.com>. Consulta: 7 de abril de 2018.

- Nivel de mano

Se utiliza en trabajos de poca precisión o verificación de ubicaciones para propuestas de nivelación diferencial. Es un tubo de latón de una longitud aproximada de 0,15 m, un objetivo de vidrio simple y un ocular de tipo de atisbadero. Cuenta con un nivel de burbuja en la parte superior, el cual se observa desde el ocular utilizando un prisma.

El instrumento se sostiene con una mano, se observa que el mismo esté nivelado y se observa la lectura del estadal; el clisímetro es una versión mejorada del nivel de mano, este incorpora un transportador metálico que permite hacer mediciones de inclinación y no solo desnivel; en la figura 6 se puede apreciar (a) el nivel de mano y (b) el clisímetro.

Figura 6. Nivel de mano y clisímetro



Fuente: *Clisímetros y niveles de mano*. <https://www.geoeco.com.mx>. Consulta: 7 de abril de 2018.

- Nivel basculante

Es utilizado en levantamientos de mayor precisión; su característica principal es que el telescopio se puede girar respecto a su eje horizontal; se obtiene una nivelación aproximada y rápida con tres tornillos niveladores y el nivel de diana. Cuando se gira el telescopio, el topógrafo gira una perilla basculante que nivela el aparato, mediante una burbuja de coincidencia.

La burbuja del nivel de anteojo se ve a través de un sistema de prismas desde la posición del observador, el dispositivo de prismas divide en dos la imagen de la burbuja. Cuando el instrumento está nivelado correctamente, las dos imágenes coinciden en una curva en forma de U. Su utilización no se justifica en levantamientos comunes como en movimiento de tierras, ya que requiere de un mayor tiempo debido al hacer coincidir las burbujas y por ser el equipo muy delicado, el costo es excesivo.

- Nivel automático

Es uno de los instrumentos más utilizados para nivelación, son perfectos para levantamientos de segundo orden y se pueden usar en mediciones de primer orden, siempre y cuando el estadoal cuente con un micrómetro óptico (es una mira graduada que se coloca al frente del anteojo telescópico que cuenta con un vernier para una lectura más exacta). Su característica principal es que cuenta con un dispositivo auto nivelación; primero, se nivela de forma aproximada mediante un nivel de diana (circular) y tres tornillos de nivelación; posteriormente, un compensador automático nivela la visual y la mantiene perfectamente horizontal; se puede apreciar un nivel automático y sus partes principales en la figura 7.

Figura 7. Partes de un nivel automático



Fuente: *Introducción al nivel óptico*. <http://www.demaquinasyherramientas.com>. Consulta: 7 de abril de 2018.

Este tipo de instrumento es muy útil en mediciones bajo situaciones adversas como grandes vientos, suelos blandos o cualquier tipo de vibración. Algunos problemas que se descubrieron recientemente en estos aparatos es

que el compensador es afectado por campos magnéticos, lo cual puede generar errores de 1 mm/km medido, dicho error es de importancia solo en levantamientos de primer orden.

Estos niveles se encuentran disponibles fácilmente en el mercado; la característica más importante es el número de aumentos de la lente; comúnmente, viene en presentaciones de 20x hasta 32x, la precisión de los instrumentos se expresa en milímetro por kilómetro nivelado ida y vuelta. En términos generales se podría decir que el rango de un nivel de 20 aumentos es de 50 m, mientras que un nivel de 32 aumentos el alcance es de 125 m.

- Nivel digital

Es un nivel con la capacidad de auto nivelación y registro de datos automáticos. Primero, se debe nivelar de manera aproximada con los tornillos niveladores, el nivel de burbuja, luego, el compensador pendular lo coloca en posición horizontal exacta. Se puede hacer vistas manuales a través de su telescopio, pero fue diseñado principalmente para efectuar lecturas electrónicas.

El anteojo del instrumento se gira hacia un estadal especial con barras codificadas, el aparato compara esta imagen con el patrón total del estadal (el cual se encuentra almacenado en la computadora integrada); luego, brinda digitalmente la lectura del estadal, así como la distancia horizontal hacia el mismo. El alcance máximo del instrumento es de 100 m y su exactitud en las lecturas del estadal es de aproximadamente $\pm 0,5$ mm; en la figura 8 se puede apreciar un nivel digital y su respectivo estadal.

Figura 8. Nivel digital y estadal con código de barras



Fuente: Nivel digital ZDL 700. <http://www.toporrey.com>. Consulta: 7 de abril de 2018.

2.4. Control de nivelaciones

Son tareas fundamentales de los topógrafos realizar observaciones y realizar los análisis subsecuentes luego de realizar los levantamientos topográficos. Para tomar buenas mediciones no solo es necesaria la combinación de la habilidad humana y el equipo adecuado; también, el juicio y criterio del observador juegan un papel fundamental en momentos donde hay que tomar decisiones inmediatas. Los topógrafos deben conocer los tipos de errores, sus causas, sus posibles magnitudes y la manera en que estos se propagan; de esta manera se podrá elegir el equipo adecuado y los procedimientos necesarios para reducir los errores y poder tener el control en la nivelación.

2.4.1. Errores

Todas las mediciones de nivelación están sujetas a tres clases de errores: instrumentales, naturales y personales, que son los correspondientes a los errores sistemáticos estudiados en el capítulo anterior.

2.4.1.1. Paralaje

Pertenece al grupo de errores personales, es un cambio aparente en la posición de un objeto o punto respecto a otro cuando se observa desde diferentes lugares. El enfoque incorrecto del objetivo o del ocular origina lecturas del estadal incorrectas. La paralaje se aprovecha en la fotogrametría para restituir la imagen planimétrica y reducir su altimetría.

2.4.1.2. Curvatura terrestre

Anteriormente, se dijo que al centrar y nivelar un instrumento sobre un punto se obtiene una línea horizontal a plomo respecto a la superficie terrestre; sin embargo, este no es el caso debido a la curvatura terrestre. La línea de la visual será perpendicular solamente a una línea a plomo sobre un punto (correspondiente a la posición del instrumento), pero no a los demás puntos observados. Esto provoca un ligero incremento en la lectura del estadal; este error es proporcional al cuadrado de la distancia entre el instrumento y el punto observado.

2.4.1.3. Refracción atmosférica

Se dice que cuando los rayos de luz atraviesan masas de aire con diferentes densidades se refractan o se desvían hacia abajo, lo que hace de la

línea visual una curva cóncava hacia la superficie terrestre, lo que tiene como efecto disminuir la lectura del estadal. La refracción es mayor cuando la observación está cerca de la superficie del terreno o de cuerpos de agua, así mismo este fenómeno varía con la temperatura, la presión y la humedad. Para la refracción se utiliza un valor promedio de 0,93 ft en una milla, generalmente, no son importantes en distancias cortas visadas como en la nivelación diferencial, aunque debe tomarse en cuenta en el caso de levantamientos muy precisos. Los errores de paralaje, curvatura terrestre y refracción atmosférica pertenecen a uno de los siguientes tres grandes grupos.

- Errores instrumentales

(a) Línea de visual: cuando el instrumento se coloca en la estación se debe asegurar que el nivel de diana o de tubo se encuentre centrado; de esta manera la línea de visual será horizontal, si no se cumplen estas condiciones se puede tener errores significativos en las mediciones. (b) Longitud incorrecta del estadal: ocasionado por estadales mal graduados en la escala de sus medidas. (c) Patas del tripié flojas: si los tornillos de las patas del tripié están flojos o muy apretados, ocasionan movimientos que afectan la base nivelante del aparato.

- Errores naturales

Pertenecen a este grupo los errores debidos a la curvatura terrestre y la refracción atmosférica explicados anteriormente, además tenemos. (a) Variación de la temperatura: el aumento del calor dilata los estadales, así mismo si se calienta el tubo del nivel de burbuja el líquido se dilata lo que ocasiona ciertos inconvenientes en las mediciones. (b) Viento: ocasionan vibraciones en el instrumento e inestabilidad en el estadal. (c) Asentamiento del instrumento: se produce por colocar el instrumento en suelos blandos, es

posible que el instrumento sufra pequeños asentamientos lo que afecta todas las mediciones posteriores.

- Errores personales

(a) La burbuja no está centrada: si en el momento de realizar la medición la burbuja no está centrada, todas las observaciones que se hagan tendrán un margen de error, siendo este significativo en distancias grandes. (b) Lecturas del estadal erróneas: se obtiene lecturas defectuosas por paralaje, visuales muy largas, condiciones desfavorables del ambiente e incluso por equivocaciones. (c) Manejo del estadal: productor por no tener a plomo el estadal al momento de la medición, se puede reducir utilizando un nivel de burbuja para estadal o bien utilizando una plomada.

2.4.2. Compensación

Existen diferentes técnicas de compensación: están las preventivas y las correctivas; generalmente, se prefieren utilizar la compensación preventiva, la cual se lleva a cabo en campo; algunas de estas técnicas se exponen a continuación, mientras que la compensación correctiva se realiza directamente en gabinete, mediante valores aproximados o ecuaciones específicas; si algo se debe tener en cuenta es que los errores no se pueden eliminar, sea cual sea la naturaleza del levantamiento realizado los errores solo se pueden reducir.

Para corregir el error de paralaje es necesario que el observador enfoque correctamente el anteojo hacia el objetivo para evitar errores por curvatura terrestre no se deben realizar observaciones a más de 100 m; se puede eliminar este error si la distancia de la vista atrás es aproximadamente igual a la vista hacia adelante en nivelación diferencial. Para corregir el error por

refracción atmosférica también se recomienda equilibrar las distancias de las vistas atrás y vistas adelante, evitar visuales muy cerca del suelo (distancia mínima 0,5 a 0,8 m), no hacer visuales largas y en caso de trabajos muy precisos suspender las actividades en horas de gran calor.

3. ESTACIÓN TOTAL

En la actualidad, la estación total es el instrumento más utilizado en levantamientos topográficos ha sustituido casi en su totalidad a los distanciómetros electrónicos y los teodolitos. Una estación total es un instrumento que consta de tres partes importantes: un teodolito con la capacidad de medir ángulos verticales y horizontales, un distanciómetro que sirve para medir distancias horizontales y verticales, así como un equipo con la capacidad de almacenar y procesar datos para su posterior presentación en tiempo real.

3.1. Funciones principales del instrumento

Como se dijo anteriormente tiene todas las características de un teodolito, su centrado y nivelado son similares, aunque las estaciones totales cuentan con un sistema más avanzado de niveles electrónicos. Así mismo, cuenta también con los errores comunes que son los de verticalidad, colimación e inclinación; se pueden corregir el de verticalidad por medio de software y el de colimación por medios mecánicos.

Para la medición de distancias horizontales utiliza el mismo principio que los distanciómetros: la estación total envía señales electromagnéticas hacia los prismas (en la actualidad las estaciones totales utilizan señales infrarrojas o laser debido a una mayor exactitud); conociendo la velocidad y el tiempo que tarda la onda de rebotar en el prisma y regresar hacia el aparato se puede determinar la distancia de los puntos en cuestión. Además, las estaciones

totales con capaces de medir ángulos horizontales y verticales a través de marcas realizadas en discos transparentes.

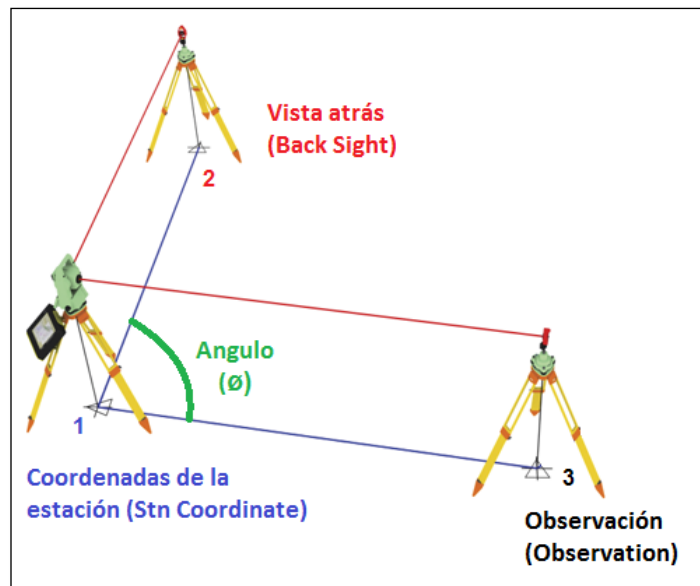
Es importante mencionar que con el microprocesador que lleva integrado es posible realizar diversos cálculos; entre estos se puede mencionar la corrección electrónica de distancias mediante constantes de prismas, presión atmosférica y temperatura, corrección de refracción y temperatura en nivelación trigonométrica, cálculo de elevaciones de puntos y sin olvidar el hecho de que realiza el croquis de la medición que se está llevando a cabo.

El procedimiento general que utiliza una estación total para realizar una medición es el de triangulación que consiste en determinar la coordenada de un punto cualquiera a través de dos puntos con coordenadas conocidas. Esto quiere decir que la estación total se debe centrar y nivelar sobre el punto con coordenadas conocidas o asumidas, visar hacia el otro punto conocido y registrarlo; de esta manera, se podrá comenzar dirigiendo la visual hacia todos los demás puntos de interés; en la mayoría de estaciones totales estos puntos se denominan de la siguiente manera:

- Coordenadas de la estación (*Stn coordinate*): es uno de los puntos con coordenadas conocidas, sobre el cual se centra y nivela la estación total, y sobre el cual se comienza la observación hacia los demás puntos.
- Vista atrás (*back sight*): es el segundo punto con coordenadas conocidas, en el cual se realizará la primera observación. No necesariamente debe quedar atrás del aparato como su nombre lo indica, sino puede ir ubicado en cualquier otro sitio media vez se tenga una visualización correcta.

- Observación (*observation*): corresponde al punto al que se le quiere determinar las coordenadas, puede ubicarse en cualquier sitio a conveniencia de las posteriores observaciones que realizará el topógrafo. En la figura 9, se presenta un diagrama donde se pueden observar los puntos descritos.

Figura 9. **Funcionamiento de una estación total**



Fuente: *Traverse with TheoLt pro*. <https://billboyheritagesurvey.wordpress.com>. Consulta: 17 de junio de 2016.

3.2. Partes y componentes del instrumento

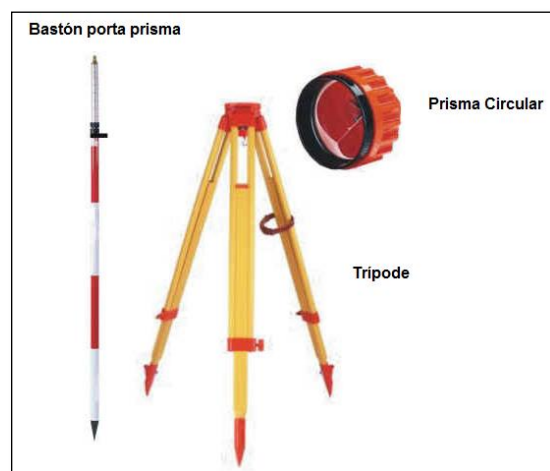
Es necesario conocer las diferentes partes de una estación total; también, las funciones que ejerce cada una de estas partes para su manejo correcto en las mediciones de campo; conforme se vaya describiendo cada una de las

partes se podrá apreciar la enorme similitud que tiene la estación total con un teodolito convencional.

Se debe diferenciar entre las partes propias de la estación total que son las que se muestran en la figura 10; también, los accesorios adicionales que se deben utilizar para realizar cualquier tipo de levantamientos; entre los accesorios adicionales se tiene:

- Bastón porta prisma: generalmente, están hechos de metal, son cilindros huecos de metal, graduados con altura autoajutable, sobre el cual se ensambla el prisma. Poseen un nivel de burbuja circular para asegurar su verticalidad cuando se realizan las mediciones; es importante mencionar que según el número de prismas que se utiliza en la medición, ese mismo número de bastones se tendrá que utilizar; en la figura 10 se muestra un bastón porta prisma.

Figura 10. **Accesorios para una estación total**



Fuente: *Equipos topográficos canarias*. <http://www.equipostopograficoscanarias.com>. Consulta: 20 de junio de 2016.

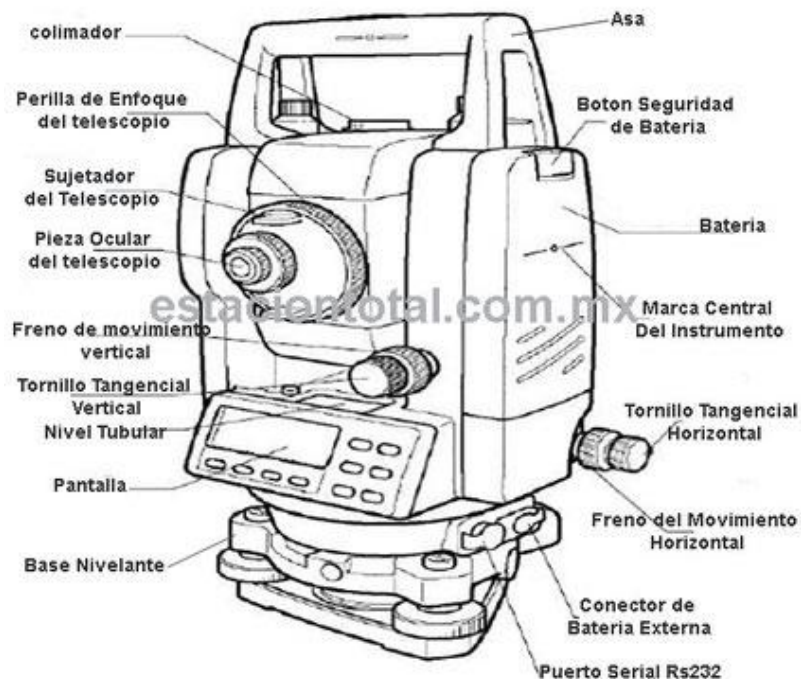
- Trípode: es un accesorio sobre el cual se ensambla el aparato; consta de tres patas ajustables las cuales sirven para nivelar el instrumento; se puede apreciar en la figura 10. Usualmente son fabricadas con madera, metal o fibra de vidrio.
- Prisma circular: es un dispositivo que se coloca en el punto de interés, se observa con la estación total y este envía una señal al prisma el cual rebota la señal electromagnética para que regresen al aparato. Existen dos tipos de prismas: (a) prisma circular (ver figura 10): se caracterizan porque deben estar alineados con la línea visual del instrumento, son usados en la mayoría de levantamientos convencionales y de gran precisión; (b) prisma de 360°: no se necesita alinear el prisma con la visual del aparato ya que funciona en todas las direcciones, es usado en las estaciones totales más vanguardistas.
- Brújula: es un accesorio que usualmente viene incluido en el paquete de la estación total, se ajusta sobre el instrumento y se tiene la capacidad de amarrar la medición al norte magnético de la tierra, si se trabaja con coordenadas asumidas.
- Cargador: en promedio una batería cargada brindará 6 horas de trabajo continuo, por ello se hace necesario por lo menos llevar dos baterías en cualquier trabajo de campo; así mismo, la mayoría de cargadores tiene la capacidad de cargar dos baterías simultáneamente.

Dentro de las partes que le son propias a la estación total, así como la descripción del funcionamiento de cada una y su importancia en el equipo se tiene:

- Anteojos: son de vidrio con sus respectivas marcas llamados líneas de colimación; sirven para colimar, emitir la radiación y recibir la señal reflejada por el prisma. Tienen dos partes esenciales utilizados para las observaciones: el control de la lente del objetivo, se usa para enfocar el objeto que se está observando; el control de la pieza ocular, se utiliza para enfocar la retícula. El ajuste adecuado de ambos conduce a una imagen nítida tanto del objetivo como de los hilos de la retícula (líneas de colimación); cuando ambos enfoques no coinciden se presenta la paralaje, que es un error perteneciente a los errores personales estudiados en el capítulo anterior.
- Sistema de medición de ángulos: consiste en dos círculos de vidrio montados uno sobre otro, con una pequeña separación entre ambos. El círculo inferior recibe el nombre de rotor y tiene líneas oscuras y espacios en blanco igualmente divididos; el círculo superior se llama estator y tiene graduaciones en forma de ranura, un haz de luz se proyecta desde abajo hacia un fotodetector. En el momento en que se visa un ángulo, los dos círculos (rotor y estator) se mueven causando variaciones en el haz de luz, los fotodetectores registran esta variación, la convierten en pulsos eléctricos y se transmiten a un microprocesador que los convierte en valores digitales. El mismo proceso se utiliza para medición de ángulos verticales, solo que los círculos de vidrio están colocados de forma vertical.
- Círculo vertical: está relacionado con la acción de la gravedad por medio de un compensador automático, cuando el instrumento está nivelado, automáticamente la lente adquiere un valor de 0° apuntando hacia el cenit. El movimiento vertical se logra con el tornillo de fijación y tangencial; ajustando este se logra la fijación de la lente con el eje horizontal y desajustando nuevamente este tornillo permite el movimiento de la lente.

- **Círculo horizontal:** es el mismo proceso que el anterior, por medio de un tornillo de fijación y tangencial de movimiento horizontal se puede fijar o variar la posición horizontal de la lente. Para realizar una observación, se mueve la lente en dirección al objetivo, se ajusta el tornillo de fijación y luego con el tornillo tangencial se apunta de manera exacta al objetivo.
- **Base nivelante:** es un dispositivo sobre el cual va montada la parte superior de la estación total, consiste en tres tornillos de nivelación, un nivel de burbuja circular (ojo de buey) y un sistema de fijación para asegurar la estación total a la base o tripié, se puede observar en la figura 11 esquina inferior izquierda.

Figura 11. **Partes principales de una estación total Trimble M3**



Fuente: *Partes de una estación total*. <https://www.estaciontotal.com.mx>. Consulta: 13 de abril de 2018.

- Plomada óptica: su funcionamiento principal es verificar que la estación total esté centrada exactamente sobre la estación; la plomada óptica puede estar en el tríbraco o bien en la alidada, prefiriéndose que esté sobre la alidada por proporcionar mayor exactitud. El instrumento debe estar nivelado para que la línea vertical de la plomada óptica sea realmente vertical y no inclinada. En la actualidad, las plomadas ópticas están siendo reemplazadas por plomadas láser, el principio es producir un haz de luz vertical que debe coincidir con el punto o estación. Se realizan centrados en menor tiempo pero se dificulta la visualización del punto en días muy soleados.
- Microprocesador: brinda ciertas ventajas a los topógrafos: los ángulos pueden medirse en cualquier sentido, los círculos pueden ponerse en ceros con solo presionar un botón y los ángulos medidos por repetición pueden sumarse.
- Teclado y carátula: permiten la comunicación del observador con el microprocesador, dando órdenes mediante el teclado y observando los resultados en la carátula.
- Puertos de comunicación (ver figura 11 esquina inferior derecha): permite tener una interfaz con dispositivos externos, computadora o una memoria sim para almacenaje de archivos.

3.3. Tipos de estaciones totales

Existen diversos tipos de estaciones totales, entre las primeras que salieron al mercado están las estaciones totales manuales, las cuales no tenían la capacidad de almacenar datos; luego, aparecieron las semiautomáticas, estas si tenían la capacidad de almacenar lecturas del círculo vertical, mientras

que las lecturas del círculo horizontal se hacían manualmente. Con el pasar de los años estos dos tipos de estaciones totales fueron sustituidas por las estaciones totales automáticas y las robóticas.

3.3.1. Estaciones totales automáticas

En la actualidad son las más utilizadas; tienen la capacidad de almacenar datos de manera electrónica de los ángulos horizontales, verticales, distancias horizontales, verticales y distancias inclinadas; también, sus respectivas componentes. Para realizar medición de distancias todas las estaciones totales utilizan rayos infrarrojos, los alcances varían desde los 800 m hasta los 2 000 m, con un rango de precisión aproximada de $\pm 5 \text{ mm} + 5 \text{ ppm}$ y las más precisas con una incerteza de $\pm 1 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$.

Generalmente, son utilizadas para redes de control para límites de terreno, estacado de sitios de construcción y en la obtención de datos topográficos. Entre las desventajas de una estación total automáticas está que no brinda libretas topográficas como las vistas en capítulos anteriores por lo tanto no es posible hacer los respectivos chequeos de campo. Para realizar una revisión completa es necesario regresar a la oficina y corregir el trabajo mediante el plano elaborado.

3.3.2. Estaciones totales robóticas

Es el instrumento más sofisticado en cuanto a estación total se refiere en la actualidad. El equipo incluye una baliza con nivel circular, un prisma reflector, equipo telemétrico para comunicación con el robot y un teclado.

Algunas de las ventajas que ofrece la utilización de este equipo son las siguientes: (a) permiten trabajar con una sola persona; (b) la persona se sitúa en el prisma al hacer el levantamiento, con lo que se gana en la calidad del trabajo; (c) por el hecho de estar situado en el punto del prisma la información adicional es más fácil de recolectar; (d) el aparato es capaz de seguir al prisma aún en distancias largas o visibilidad difícil; (e) dichas estaciones se controlan con mando a distancia, lo que brinda mayor seguridad de los puntos medidos.

Así mismo, se puede utilizar como una estación total automática convencional o como un robot si un solo topógrafo se ubica en el prisma, cuando las mediciones se realizan con el segundo método reciben el nombre de levantamientos remotos. El topógrafo se lleva el prisma con la unidad de posicionamiento remoto (*remote positioning unit*, RPU), activa el dispositivo con el botón de búsqueda y la estación robótica ubica la posición del RPU.

La utilización de una estación total robótica se recomienda para levantamientos de obras donde se esté haciendo movimiento masivo de tierra, lo que incluye cortes y rellenos, más no para levantamientos convencionales catastrales; la razón principal es porque al momento de que el topógrafo se mueva hacia una estación a esperar de que el equipo lo encuentre, el aparato hace un barrido de 360° en sentido de las agujas del reloj para poder encontrarlo; si el topógrafo se mueve en sentido contrario, el equipo debe dar casi una vuelta completa lo cual aumenta el tiempo de trabajo.

3.4. Tipos de mediciones

Como se mencionó anteriormente una estación total sirve para realizar tres tipos de mediciones básicas: distancias horizontales, niveles y ángulos, tanto horizontales como verticales; por lo tanto, con solo utilizar este

instrumento se puede realizar un levantamiento topográfico. Es importante conocer los principios y el procedimiento que se debe realizar para llevar a cabo estos tres tipos de mediciones en campo para no incurrir en errores significativos.

En la pantalla de la estación total se muestran diferentes símbolos y letras, las cuales se conocen como indicadores de medición (MEAS), representan la magnitud medida luego de una observación hacia cualquier punto; en la tabla IV se muestran las abreviaturas y símbolos utilizados en una estación total para medición de distancias, niveles y ángulos.

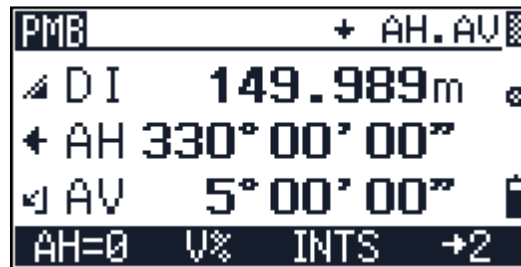
Tabla IV. **Indicadores del modo de medición**

DI Distancia inclinada			
AH Angulo horizontal		Sentido de las agujas del reloj	Sentido contrario a las agujas del reloj
AV Angulo vertical		Cenit	Vertical ± Elev.
DH Distancia horizontal			
h Altura			
U% Porcentaje de pendiente			

Fuente: Trimble M3. *Guía del usuario*. p. 56.

Así mismo, estos indicadores de medición (MEAS) se pueden observar en la pantalla de la estación total en la figura 12, a la izquierda, mientras en la parte derecha se puede observar la magnitud correspondiente a cada indicador.

Figura 12. **Pantalla de medición básica**



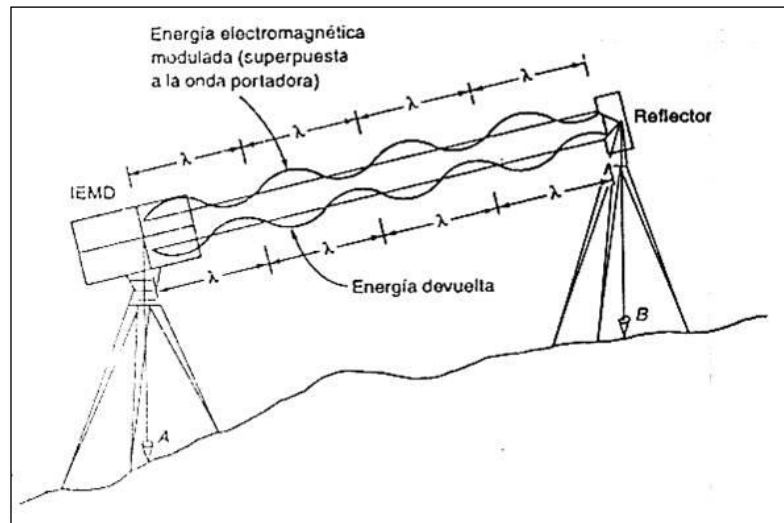
Fuente: Trimble M3. *Guía del usuario*. p. 56.

3.4.1. Distancias

El principio que utiliza una estación total para medir distancias horizontales es el mismo que utiliza un distanciómetro, para ello se necesitan, un aparato transmisor generador de señal, un dispositivo reflector y un microprocesador para facilitar los cálculos respectivos.

Primero, se debe centrar y nivelar la estación total, se debe observar hacia el punto de interés, se presiona la opción medir y el aparato emite una señal electromagnética, esta viaja en la atmósfera llegando hasta el prisma, el cual refleja la señal nuevamente hacia el aparato. Conociendo la longitud de onda (λ), la velocidad de la señal (L) y tomando en cuenta que la distancia fue recorrida dos veces por la señal electromagnética, se puede determinar la distancia horizontal que hay entre la estación total y el prisma. En resumen, la medición electrónica de distancias se compone de tres fases: la generación de la señal, el tiempo de vuelo hacia el prisma a través de la atmósfera y la reflexión de la señal; esto se puede apreciar en la figura 13.

Figura 13. Principio para medición de distancias horizontal



Fuente: WOLF, Paul. *Topografía*. p. 149.

En los instrumentos actuales ya no se utilizan señales electromagnéticas sino señales infrarrojas o bien señales láser, estos aparatos transmiten señales en dos fases, con lo cual generan dos tipo de ondas conocidas como onda portadora y moduladora. La onda portadora es la encargada de establecer el enlace de configuración entre el instrumento y el prisma, mientras que la onda moduladora es la que realmente establece la medición; generalmente, los sistemas de modulación son en frecuencia, amplitud, pulsante y por giro de polarización.

Los distanciómetros de las estaciones totales utilizan frecuentemente el sistema de modulación por amplitud, en donde se hace proporcional la amplitud de la portadora con la moduladora para evaluar la diferencia de fase entre la onda emitida con la reflejada. Además, los distanciómetros infrarrojos si poseen un diodo emisor láser, lo que es infrarrojo es la onda portadora, mientras que

una ventaja que ofrecen los distanciómetros láser es que puede medir sin reflectores en distancias pequeñas, y con la utilización de primas se pueden alcanzar distancias mucho mayores que con un infrarrojo.

- **Precisión**

En cualquier instrumento de estación total se tendrán dos dimensiones que indicarán la precisión del instrumento, la primera es un valor fijo y depende de la incerteza del instrumento, la segunda es una magnitud que depende de la distancia medida. Por ejemplo si tiene una estación total con una precisión de $\pm (5 \text{ mm} + 3 \text{ ppm})$, se dice que por cada observación habrá un error aproximado de 5 mm a causa de la incerteza del instrumento, mientras que por cada kilómetro de distancia medido se tendrá un error de 3 mm (1 kilómetro = 1 millón de milímetros). Es posible encontrar en el mercado precisiones que oscilan desde $\pm (1 \text{ mm} + 1 \text{ ppm})$ hasta $\pm (5 \text{ mm} + 5 \text{ ppm})$, siendo comunes valores como $\pm (3 \text{ mm} + 3 \text{ ppm})$ y $\pm (2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm})$.

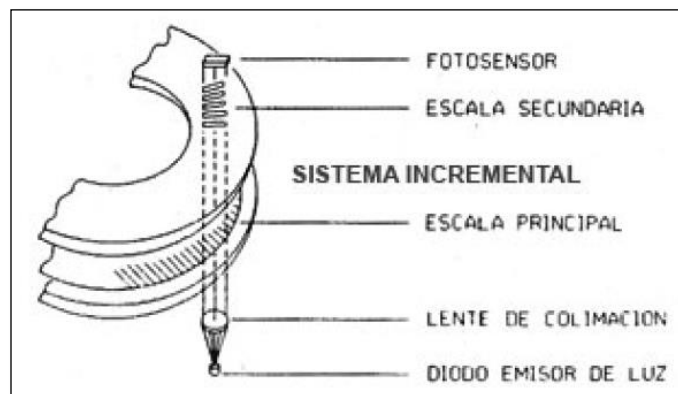
3.4.2. Ángulos

Una estación total tiene la capacidad de medir ángulos horizontales y verticales, utiliza el mismo principio para realizar ambas mediciones. En campo el proceso que se debe realizar es nivelar y centrar el aparato; luego, se debe crear la libreta electrónica, se debe visar hacia un punto fijo o norte, y luego se observa hacia el punto de interés, se ajustan los tornillos de fijación, se afina la visual con el tornillo tangencial, se presiona el botón de medir y luego se muestran los valores en la pantalla o carátula del instrumento.

En la actualidad, las formas de evaluar ángulos han permitido eliminar la influencia del observador al determinar la lectura, ha permitido configurar una

respuesta digital como en el caso de la distancia y crear información susceptible de ser almacenada. Los sistemas más utilizados para medición electrónica de ángulos son: (a) sistemas basados en la conversión de analógico al digital: que convierte una determinada lectura al código binario por medio de un codificador; (b) sistemas basados en codificadores ópticos: posee dos discos con diferentes escalas una principal y otra secundaria, junto con sensor, ver figura 14. La variación de luz que se genera cuando la escala principal gira, se transforma en señal sinusoidal susceptible de ser cuantificada.

Figura 14. **Sistema de medición angular basado en codificador óptico**



Fuente: *La estación total*. <ftp://ftp.unsj.edu.ar>. Consulta: 22 de junio de 2016.

Los estándares de precisión para los instrumentos de estación total los brinda la norma DIN 18723, (Instituto Alemán de Normalización, por sus siglas), para certificación de estaciones totales, teodolitos y niveles. Las precisiones varían desde 0,5" hasta 20"; son más comunes en el mercado las estaciones totales con precisión de 1", 2", 3", 4", 5", y 10", esto es aplicable tanto en posición directa como inversa del anteojo.

3.4.3. Niveles

Una estación total utiliza el principio de nivelación trigonométrica para determinar las cotas de los puntos observados; para ello se nivela y centra el instrumento, se lleva el prisma al punto de interés, se observa hacia el prisma y se presiona la tecla medir; la estación total automáticamente brinda los datos de la distancia horizontal, ángulo cenital, azimut y con ayuda del microprocesador brinda el nivel del punto en cuestión.

Es necesario toma en cuenta que las mediciones de niveles con estación total están restringidos por errores instrumentales y los efectos de refracción atmosférica por lo que se pueden utilizar para mapeo topográfico y otros trabajos de orden inferior.

3.5. Fuentes de error

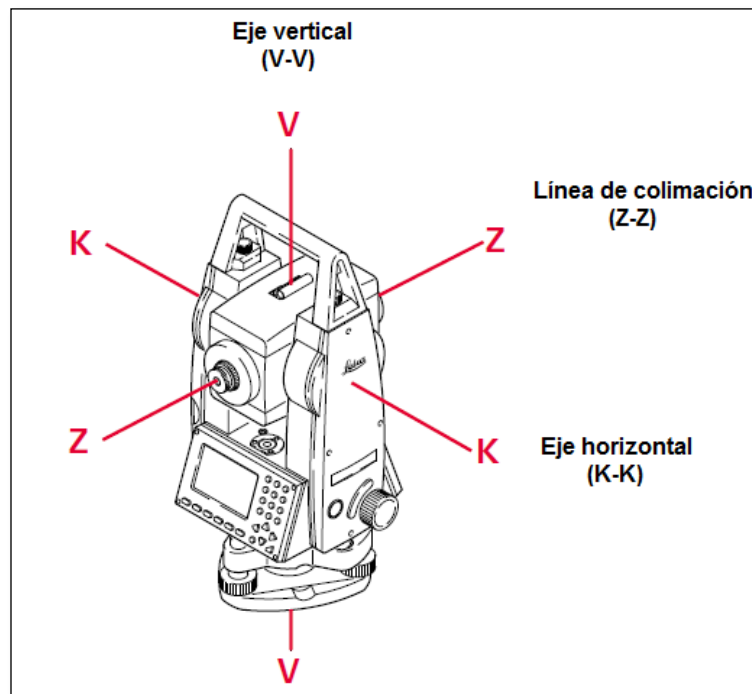
Como ya se estudió en capítulos anteriores existen dos tipos de errores en levantamientos topográficos, cualquiera que sea su naturaleza; en primer lugar se tienen los errores sistemáticos, los cuales se originan de tres fuentes: natural, personal e instrumental; en segundo lugar se tienen los errores accidentales, los cuales obedecen a comportamientos estadísticos.

- **Errores instrumentales**

Los errores instrumentales de una estación total, provienen de tres componentes conceptuales: el eje vertical, el eje horizontal y la línea de colimación, los cuales se pueden observar en la figura 15. En todo levantamiento con estación total se debe verificar (a) que la línea vertical sea perpendicular al eje de la directriz, (b) que el eje horizontal sea perpendicular el

eje vertical y (c) que la línea de colimación sea perpendicular al eje horizontal; si se incumple con alguna de estas reglas se incurre en errores significativos en la medición de ángulos.

Figura 15. **Ejes de una estación total**



Fuente: *Principios básicos de topografía*. <http://w3.leica-geosystems.com>. Consulta: 23 de junio de 2016.

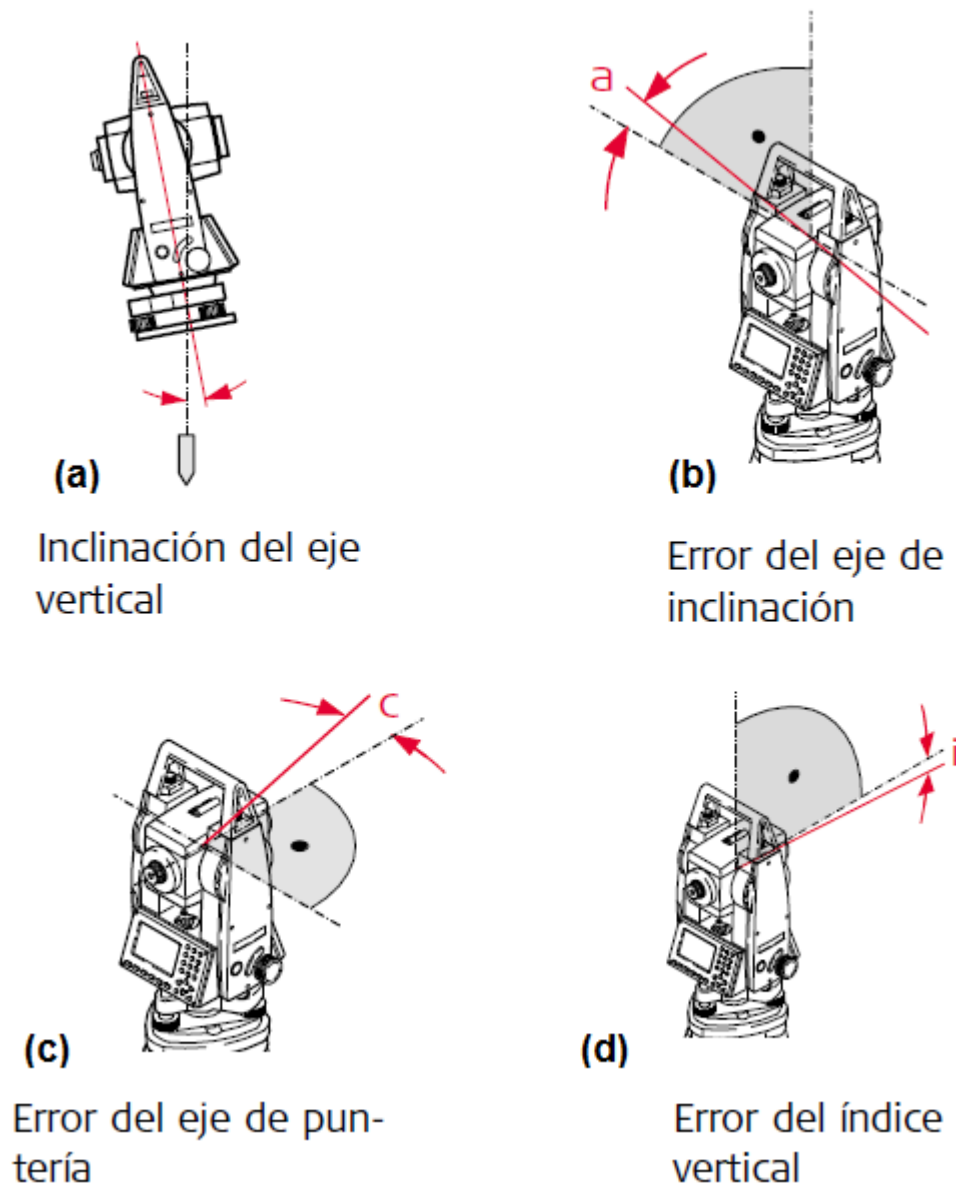
Inclinación del eje vertical (figura 16 a): se produce porque los niveles de burbuja de la base nivelante están desajustados y las directrices de estos niveles no son perpendiculares al eje vertical de la estación; por lo tanto, aunque el nivel de burbuja esté centrado, el instrumento no lo estará, y existirá un desfase angular, lo cual crea errores en las mediciones angulares; un dato importante es que este error no se puede eliminar con el promedio de vista directa e inversa.

Error del eje de inclinación (figura 16 b): se produce cuando el eje horizontal no es perpendicular al eje vertical, lo que causa cierta inclinación en la línea de colimación cuando se invierte el anteojo; esto repercute en las vistas adelante y las vistas atrás cuando se hace nivelación ya que el ángulo horizontal es incorrecto. Es posible compensar este error si se hace el mismo número de lecturas atrás y adelante y se promedian los valores. Cuando la estación total tiene un compensador dual, basta con observar cuidadosamente al objetivo tanto en posición directa e inversa y el microprocesador crea un factor de calibración con el cual corrige todos los datos subsiguientes.

Error de colimación o del eje de puntería (figura 16 c): se presenta cuando la línea de colimación no es perpendicular el eje horizontal; esto genera un cono con su eje paralelo al eje horizontal, y el error repercute en mediciones donde se necesite prolongar una línea horizontal o en medición de ángulos por deflexiones. Al igual que el error anterior se puede corregir por promedio de vistas directa e inversa.

Error de índice en el círculo vertical: si una estación se nivela correctamente, la línea de colimación es totalmente horizontal y cuando se realiza una observación al cenit el valor angular debe ser de cero grados (0°), si esto no se cumple es porque se tiene un error de índice vertical. Existen instrumentos con compensadores que tienen la capacidad de registrar un factor de calibración observando un mismo objetivo con telescopio directo e inverso, dicho factor se aplica automáticamente a todo los demás valores; mientras que si el instrumento no posee cierta función se deben realizar el mismo número de observaciones en posición directa e inversa del telescopio y luego determinar el valor real mediante promedio aritmético; los errores explicados anteriormente se pueden observar en la figura 16 inciso d.

Figura 16. Errores instrumentales en las mediciones con estación total



Fuente: *Principios básicos de topografía*. <http://w3.leica-geosystems.com>. Consulta: 23 de junio de 2016.

Otro error instrumental que se presenta es conocido como excentricidad de los centros, es causado porque el eje rotacional del aparato no coincide su centro geométrico lo que ocasiona errores angulares; además se tiene el error por graduación de los círculos, se produce por una mala graduación en cualquiera de los círculo vertical u horizontal; por último, se tienen los errores ocasionados por el equipo accesorio, como el mal estado de los prismas, base nivelante y plomadas ópticas.

- Errores naturales

Los errores naturales que interviene en las mediciones con estación total son similares a las desarrolladas en el capítulo anterior, estas incluyen asentamientos del instrumento en suelos blandos, los efectos de estabilidad volumétrica en componentes del instrumento por cambios de temperatura, vibración del aparato por fuertes vientos, efectos de refracción atmosférica y curvatura terrestre.

- Errores personales

Los errores personales existentes en mediciones de esta naturaleza, puede ser que los niveles de burbujas no estén bien centrados, lo que repercute en las mediciones angulares tanto horizontales como verticales; paralaje, que es el enfoque deficiente del objetivo con relación a la retícula del telescopio; otro error que el instrumento no esté centrado exactamente sobre el punto lo que repercute en todas las mediciones de distancias y ángulos. Así mismo, se podría presentar un uso incorrecto de los tornillos de fijación y tangenciales, se aconseja grabar muy bien la posición de los mismos y el sentido del giro para ajustar y desajustar los tornillos; por último, se debe tener especial cuidado con la colocación de los prismas, estos deben estar a plomo y bien alineados.

3.6. Instalación y preparación del instrumento

El instrumento se debe centrar y nivelar sobre puntos de control; estos puntos de control deben cumplir con los siguientes requisitos:

- Excelente visibilidad: antes de estacionar el instrumento sobre una estación de control se debe verificar que exista buena visibilidad, donde se puedan realizar la mayor cantidad de observaciones posibles, también, visualizar hacia la siguiente estación de control; esto con el objetivo de no perder tiempo por centrar y nivelar el instrumento varias veces.
- Seguridad: el sitio donde se coloque el instrumento debe brindar las mejores condiciones de seguridad en cuanto a personal y equipo se refiera, se debe tener especial cuidado en lugares donde haya demasiado tránsito, además se recomienda usar chalecos reflectivos o conos de seguridad vial.
- Señalización: es necesario identificar los puntos de control, el tipo de identificación se realizará según el tipo de terreno; para terrenos de concreto o asfalto, se recomienda utilizar spray de color rojo o algún tipo de tinta indeleble, mientras que para suelos sin recubrimiento se recomiendan estacas con clavos de lámina.

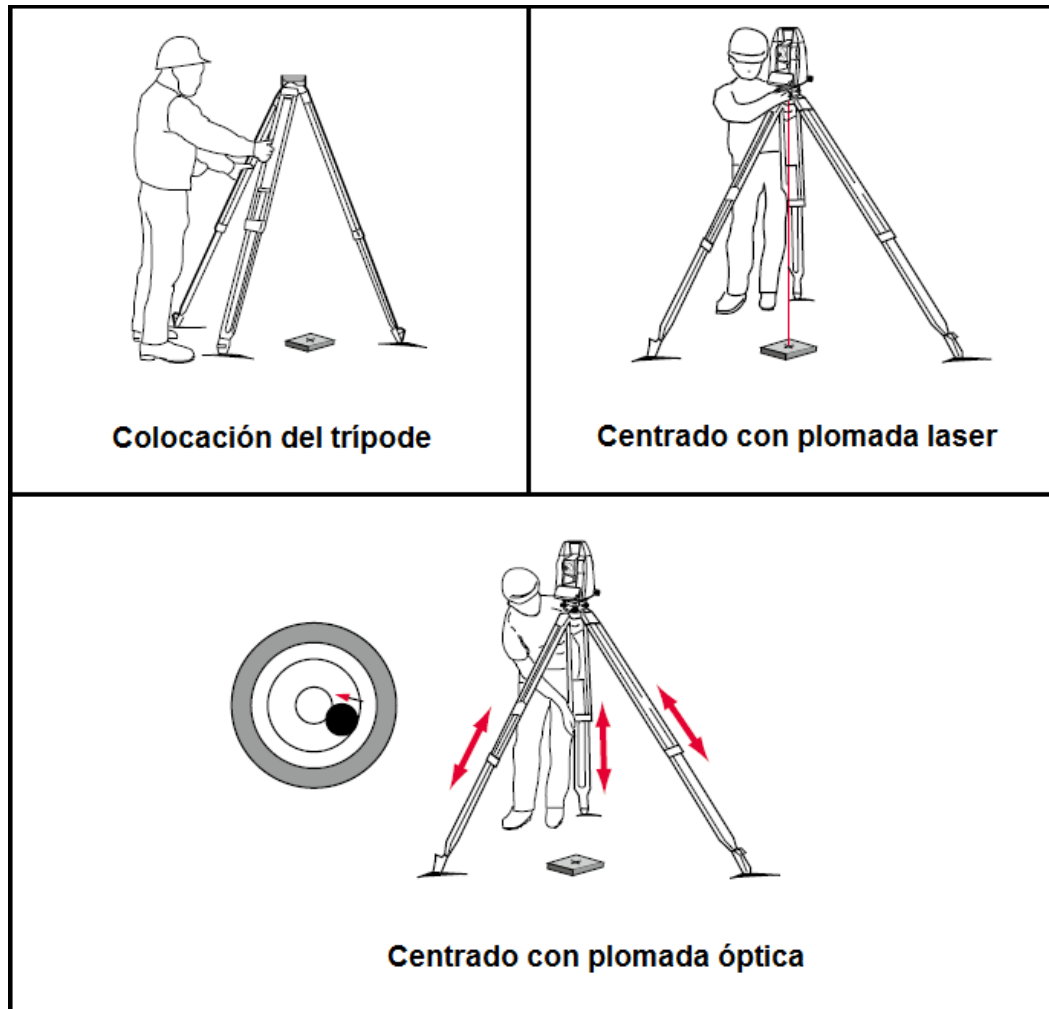
Una vez identificado y establecido el punto de control se procede a centrar y nivelar el instrumento, se debe tener especial cuidado en el transporte de los diversos dispositivos, en el embalaje y desembalaje de la estación total; para el desembalaje se debe tomar el instrumento del asa y retirarlo suavemente del estuche; mientras que en el embalaje se debe verificar que la marca en forma de V quede viendo hacia fuera del estuche; además se debe verificar que se posea la cantidad de baterías debidamente cargadas para el trabajo.

El centrado y nivelado del instrumento conlleva tres procesos principales, colocación del trípode, centrado de la estación sobre el punto y nivelación del aparato, mediante el centrado de la burbuja y el nivel de plato.

- Colocación del trípode
 - Se deben abrir las patas del tripié y colocarlas sobre el suelo.
 - Centrar el trípode sobre la estación, observando sobre el orificio de su cabeza.
 - Ejercer presión sobre las patas del tripié para dejarlas firmemente sobre el terreno.
 - Nivelar la cabeza del trípode con ayuda de los tornillos de mariposa en las patas.
 - Luego colocar la estación total sobre la cabeza del instrumento.
 - Ajustar la placa base de la estación total al tripié, con ayuda del tornillo de fijación.
- Centrado: el centrado del aparato se puede realizar de dos formas, según la tecnología de la estación total, está el centrado de la plomada óptica y el centrado con la plomada laser.
 - Una vez montado el instrumento sobre el trípode, observar sobre el nivel y centrar la retícula sobre el punto de estación, si es plomada óptica.

- Si se utiliza plomada láser, una vez fija la estación total sobre el tripié, encender la estación y activar el láser, se debe hacer coincidir la marca de la estación con el punto de la luz láser. Se puede observar gráficamente la colocación del tripié y los dos tipos de centrado en la figura 17.

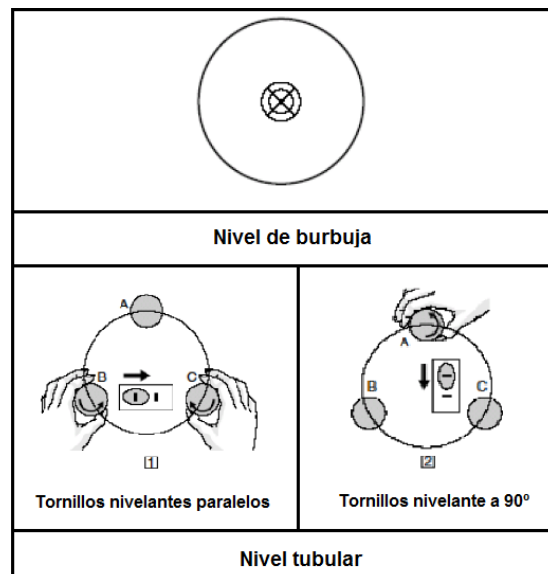
Figura 17. **Colocación del tripié y centrado de la estación total**



Fuente: *Principios básicos de topografía*. <http://w3.leica-geosystems.com>. Consulta: 24 de junio de 2016.

- Nivelación: se dice que una estación total está nivelada cuando el eje vertical de la misma, está realmente en dirección vertical, esto se realiza mediante la nivelación de burbuja (ojo de buey) y la nivelación tubular.
 - Se procede al nivelado del instrumento mediante el centrado de la burbuja, desajustar y ajustar los tornillos de mariposa para mover las patas del trípode hasta que el nivel de burbuja quede en el centro.
 - Después de hacer esto se procede a la nivelación definitiva del aparato con el nivel tubular, primero colocar el nivel tubular paralelo a dos tornillos niveladores, ajustar los tornillos hasta que la burbuja esté centrada. En la figura 18 se puede apreciar el procedimiento para nivelar una estación total.

Figura 18. **Nivelación de una estación total**



Fuente: *Guía del usuario*. <http://www.geocom.cl>. Consulta: 24 de junio de 2016.

- Rotar la alidada 90° y ajustar el tercer tornillo nivelador, hasta que la burbuja quede al centro.
- Se debe verificar nuevamente el centrado con la plomada óptica o laser, si no está centrado, aflojar el tornillo de fijación de la cabeza del trípode, y con empujes moderados hacer coincidir el aparato con el punto de estación, no es aconsejable rotar el instrumento, si existe mucha diferencia repetir el proceso desde el paso (a).
- A partir de este momento se comienza con el nuevo trabajo, realizando las respectivas observaciones a los puntos de interés.
- Cuando se realiza un cambio de estación no es aconsejable transportar el instrumento unido al trípode, se desplazan por separado.
- Ajuste del ocular: se lleva a cabo a partir de dos procesos, primero se debe realizar el ajuste de la dioptría y luego eliminar la paralaje, esto se realiza con la ayuda de los aros que se muestran en la figura 19.

Figura 19. **Aros del ocular**



Fuente: *Guía del usuario*. <http://www.geocom.cl>. Consulta: 27 de junio de 2016.

- Para el ajuste de la dioptría, primero se debe visualizar hacia un objetivo claro, puede ser el cielo o una hoja de papel.
- Se debe rotar el aro de la dioptría, hasta que la cruz filar (línea de colimación) sea perfectamente visible y clara.
- Luego se debe eliminar la paralaje, para ello visamos hacia nuestro objetivo, se rota el aro de enfoque hasta que la imagen de nuestro objetivo se observe con nitidez en la línea de colimación de la retícula.
- Se deben mover los ojos hacia los lados, hacia arriba y abajo, para comprobar si la línea de colimación se mueve con relación al objetivo.
- Si no se mueve, entonces la paralaje se ha eliminado.
- De no ser así repetir el paso (c), desde que se rota el aro de enfoque.

3.7. Programas para procesamiento de datos

La finalidad de toda medición con una estación total es plasmar los datos medidos por medio de planos y cuadros de registro, esto lo se puede realizar transfiriendo los archivos creados en el aparato a una computadora. La transferencia de datos se puede realizar de varias formas.

- Se puede compartir el trabajo directamente de la estación hacia un computador mediante cable.
- Transferir los archivos de una estación total hacia un dispositivo de memoria extraíble, bien puede ser una memoria SD o SIM.

- O bien desde un recolector de datos externos hacia un computador por medio de cable.

Para que la transferencia de datos sea posible y exista compatibilidad de documentos, es necesario utilizar un software adicional, que funcione como una interface entre el tipo de archivos que brinda la estación total y el tipo de archivo que puede leer la computadora. Generalmente, los trabajos que extraemos de la estación total tienen una extensión conocida como .GSI mientras que en una computadora los archivos que se pueden utilizar para el trabajo de gabinete deben poseer una extensión .txt, .DXF, .pun, .ascii y .csv. Los programas que se pueden utilizar para el volcado de los datos son: Prolink, Topcon Link y Sokkia Link, entre otros. Además, es posible transferir archivos de la computadora a la estación total, sin olvidar realizar el cambio del tipo de archivo que estemos manejando a la extensión .GSI.

- Sokkia Link ®

Es un software de enlace de datos entre instrumentos Sokkia y la computadora, el programa se facilita a los compradores de una estación total de la marca mencionada, hace posible la transferencia de datos, la edición de datos y la creación del dibujo. El programa cuenta con una interfaz gráfica del usuario donde se pueden relacionar los puntos visualmente, editar, eliminar o adherir datos; se pueden hacer conversiones de tipos de archivos; posee compatibilidad con programas CAD y se puede utilizar con una amplia variedad de instrumentos.

- Prolink ®

Es un software de libre distribución, compatible con varias marcas que fabrican estaciones totales, permite la compatibilidad de los archivos de la estación total

con extensión .SDR con programas CAD. Se debe tener instalado el programa en la computadora así como los respectivos driver, primero se debe crear una nueva carpeta, verificamos que la configuración en *communs input* de la estación total sea la misma que en prolink, luego procedemos a guardar el archivo en la carpeta que creamos al principio, y automáticamente el archivo será compatible con programas CAD.

- AutoCad Civil3D ®

Es un software de diseño y cálculo en dibujo urbanístico, cálculo topográfico, movimiento de tierras, diseño de carreteras y replanteos. Su característica principal es que posee herramientas para diseño en 3d, por ejemplo vínculos con software como Google Earth. Para procesar los datos de una estación total primero se debe transformar los archivos a extensiones compatibles, por ejemplo podríamos utilizar Prolink, con la libreta topográfica se procede a crear la superficie respectiva del proyecto realizado. Generalmente, se utiliza cuando no se cuenta con los programas que brindan los propios distribuidores del aparato, o bien cuando por alguna razón no es posible la transferencia del archivo.

4. GPS

El sistema de posicionamiento global (GPS, por sus siglas en inglés), es una herramienta que permite fijar a escala mundial, la posición de un objeto sobre cualquier parte de la superficie terrestre. Pertenecce a los sistemas globales de navegación por satélites (GNSS), que no es más que una gran constelación de satélites artificiales que orbitan en el espacio en diferentes trayectorias. Las posiciones en cualquier parte del globo terráqueo se determinan mediante trilateración inversa, por lo que es necesario contar por lo menos con tres satélites artificiales y un receptor colocado en tierra para conocer nuestra posición.

El sistema GPS fue desarrollado por el Departamento de Defensa Americano con el objetivo de mejorar el sistema de satélites de navegación militar TRANSIT, bastante utilizado en geodesia desde 1967; así se inició con varios sistemas globales de navegación por satélite (GNSS), la constelación americana NAVSTAR (*navigation system for time and ranging*) consta de un total de 27 satélites: 24 operativos y 3 de respaldo, se compone de 6 planos orbitales con 4 satélites cada uno. Así mismo, se tiene la constelación GLONASS (*global navigation sputnik system*) que pertenece a la federación rusa y cuenta con un total 24 satélites: 21 operativos y 3 de respaldo; la constelación Galileo de la unión europea que se espera poner en operación en el año 2020 con un total de 24 a 35 satélites, por último, está el de la república popular china denominado Beidou, que aún está en proceso de implementación.

4.1. Configuración del sistema de posicionamiento global

Se determina la distancia desde el satélite hacia el receptor a partir de las señales del cronometraje, lo que permite el cálculo de la posición del receptor. Los satélites se convierten en las estaciones de control, y las distancias a estos satélites se utilizan para calcular la posición del receptor. El sistema de posicionamiento global consta de tres sectores: los satélites, su sistema de control terrestre y los receptores de los usuarios, los cuales captan las señales emitidas por los satélites y determinan las coordenadas del punto sobre el cual están situadas.

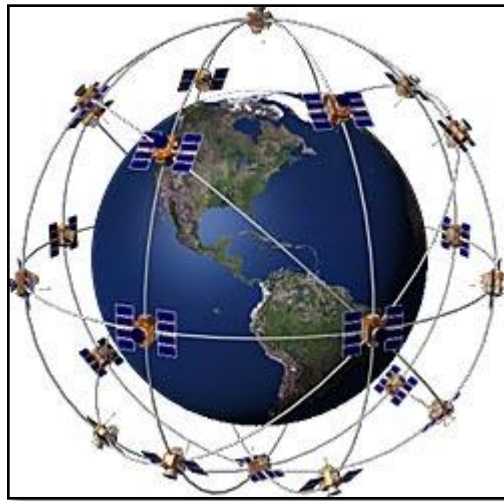
4.1.1. Segmento espacial

Está compuesta de la constelación de satélites NAVSTAR (sistema de navegación para tiempo y distancia). Su principal función es transmitir parámetros de posición de los satélites, señal de tiempos sincronizados e información del estado de los satélites sobre las ondas portadoras de otros. La constelación cuenta con 27 satélites: 24 operativos y 3 de respaldo que operan en 6 planos orbitales separados por intervalos de 60° alrededor del ecuador. Con una órbita de 12 horas sidéreas, un satélite estará sobre el horizonte unas cinco horas. El objetivo es que al menos cuatro sean visibles al mismo tiempo, a cualquier hora del día y desde cualquier punto de la superficie terrestre.

Los satélites proveen una cobertura de 24 horas entre latitudes 80 °N y 80 °S debido a su configuración. La altura promedio de un satélite sobre la tierra es de 20,200 km y viajan en orbitas casi circulares. Esta configuración se puede apreciar en la figura 20, en los satélites GPS se usan relojes atómicos precisos para controlar el cronometraje de las señales que transmiten. Por ser estos relojes muy exactos son demasiado costosos es por esta razón que los

receptores no usan este tipo de relojes; de lo contrario, el precio de un receptor sería prohibitivo, además, el observador requería de un entrenamiento para el manejo de materiales peligrosos. Por esta sencilla razón, los relojes en los receptores son controlados por las oscilaciones de un cristal de cuarzo, estos también son precisos pero menos exactos que los relojes atómicos.

Figura 20. **Configuración de satélites del segmento espacial**



Fuente: *Fundamentos del GPS*. <https://sites.google.com>. Consulta: 4 de agosto de 2016.

- **Satélites**

Los satélites GPS son alimentados por energía solar. Cuentan con baterías de emergencia a bordo para que sigan funcionando en caso de un eclipse solar, o bien cuando no hay energía solar. Se mantienen volando en la trayectoria correcta gracias a pequeños cohetes de combustible y cuentan con varios osciladores de alta precisión, que dan medidas del tiempo del orden de 10^{-14} . Los lanzamientos se llevaron a cabo en dos generaciones. La primera se denominó Bloque I; actualmente, no quedan satélites operativos ya que la vida

media era de 6 a 7 años. En la figura 21 se puede apreciar la imagen de un satélite artificial. Todos los satélites recientes pertenecen al Bloque II-A, II-F y II-R.

Figura 21. **Satélite artificial**



Fuente: *Satélites en tiempo real de Google Earth*. <https://googlediscovery.com>. Consulta: 4 de agosto de 2016.

Los seis planos orbitales existentes se denominan con las letras A, B, C, D, E, F y dentro de estas órbitas cada satélite se identifica con el número 1, 2, 3, 4, 5. Existen diversas formas de identificar un satélite:

- Por el número NAVSTAR (SVN, *satellite vehicle number*)
- Letra de la órbita a la que pertenece y el número designado
- Número de catálogo de la NASA
- Identificación internacional: año de lanzamiento, día juliano, tipo
- Número IRON. Número aleatorio asignado por NORAD

- Código pseudo aleatorio (PRN, *pseudo random noise*)

Es posible que los satélites queden fuera del servicio civil por daño de los paneles solares, daños irremediables en los sistemas electrónicos, falta de combustible, falta de capacidad de los acumuladores de maniobra o por intereses de índole militar. Estos son algunos datos interesantes de los satélites:

- El primer satélite GPS se lanzó en el año de 1978.
 - En 1994 se logró la constelación de 24 satélites.
 - Cada satélite ha sido construido para durar unos 10 años. Constantemente se construyen reemplazos y son puestos en órbita.
 - Un satélite pesa aproximadamente 4, 400 kg y tiene un diámetro de 5 m con los paneles solares extendidos.
- Señal de los satélites

Todos los satélites de la constelación NAVSTAR transmiten dos señales de radio, las cuales se emiten a través de antenas emisoras que funcionan en la banda L del espectro y estas son las que reciben nuestros receptores. La primera se denomina señal L1 con una frecuencia de 1 575,42 MHz, se modula con dos códigos de ruido pseudoaleatorios (PRN), denominados servicio de posicionamiento preciso (PPS) o código P protegido; este puede ser encriptado para uso militar. El código de adquisición grueso (*C/A coarse/acquisition*) conocido como servicio estándar de posicionamiento (SPS). La segunda se denomina señal L2 se modula únicamente con el código P. La mayoría de los receptores de uso civil usan el código C/A para obtener la información del sistema GPS.

Se envía una información compuesta por tres códigos y un mensaje de navegación sobre estas dos portadoras, generados según la frecuencia correspondiente. El primer código se denomina C/A con precisiones entre los 3 m y los 10 m, el segundo es el código P (*precise*) y el tercero L2C de precisión similar al C/A.

4.1.2. Segmento del usuario

Los receptores GPS forman parte de este segmento y determinan su posición registrando el tiempo de viaje de la señal emitida por el satélite y la velocidad de la luz, ya que se observan al menos cuatro satélites en tiempo común, el receptor es capaz de calcular las coordenadas X, Y, Z en el cual está situado. Los receptores se componen de varios elementos: antena, receptor y unidad de control. Amplifican y reciben las señales mediante la antena, el receptor recibe la señal y la decodifica, la unidad de control permite al usuario interpretar y almacenar la información para posteriores aplicaciones.

El plan federal de radionavegación especifica dos tipos de servicios de posicionamiento para el sistema GPS: el servicio de posición estándar (SPS: *standard position service*) y el servicio de posicionamiento preciso (PPS: *precise positioning service*).

- Servicio de posicionamiento estándar (SPS)

Conocido también como código civil (señal reservada para usos civiles) o código C/A (código de adquisición ordinaria), este código utilizaba una frecuencia de 1 575,42 MHz y en sus inicios llevaba implícito un error en el posicionamiento conocido con el nombre de disponibilidad selectiva (S.A.), el cual fue suprimido en el año 2 000 por el gobierno de los Estados Unidos. Los

usuarios civiles de todo el mundo utilizan el SPS sin cargo ni restricciones. La precisión estimada del SPS es de 100 metros en el plano horizontal, 156 metros en el eje vertical y 340 nanosegundos de precisión temporal.

- Servicio de posicionamiento preciso (PPS)

Conocido también con el nombre de código militar o código P (precisión), utiliza dos frecuencias: una de 1 575,42 Hz y otra de 1 226,7 MHz, proporciona la máxima precisión para fines exclusivamente militares, por lo que no es utilizable por los receptores civiles. Únicamente algunos usuarios autorizados y equipados con dispositivos criptográficos, llaves y receptores especiales utilizan el sistema de posicionamiento preciso. Este sistema está reservado para el ejército de los EE.UU. y sus aliados, ciertas agencias estatales del gobierno estadounidense y algunos civiles selectos especialmente aprobados por el gobierno de los EE.UU. La precisión estimada del sistema PPS es de 22 metros en sentido horizontal, 27.7 metros en sentido vertical y 100 nanosegundos de precisión temporal.

Pese a la supresión de la S.A., el código PPS da más precisión que el código civil C/A, debido a que el primero utiliza dos frecuencias distintas, lo que permite compensar los errores debidos a las condiciones ionosféricas.

4.1.3. Segmento de control

Este segmento le brinda seguimiento continuo a los satélites de la constelación NAVSTAR, determinando su posición, transmitiendo datos y controlando diariamente todos los satélites. En un principio existían 5 centros de control ubicados en: Colorado Springs y en las Islas Hawái, Ascensión, Diego

García y Kwajalein. Desde el año 1995 hay 10 estaciones monitoras las cuales se pueden observar en la figura 22.

Figura 22. **Ubicación de los segmentos de control**

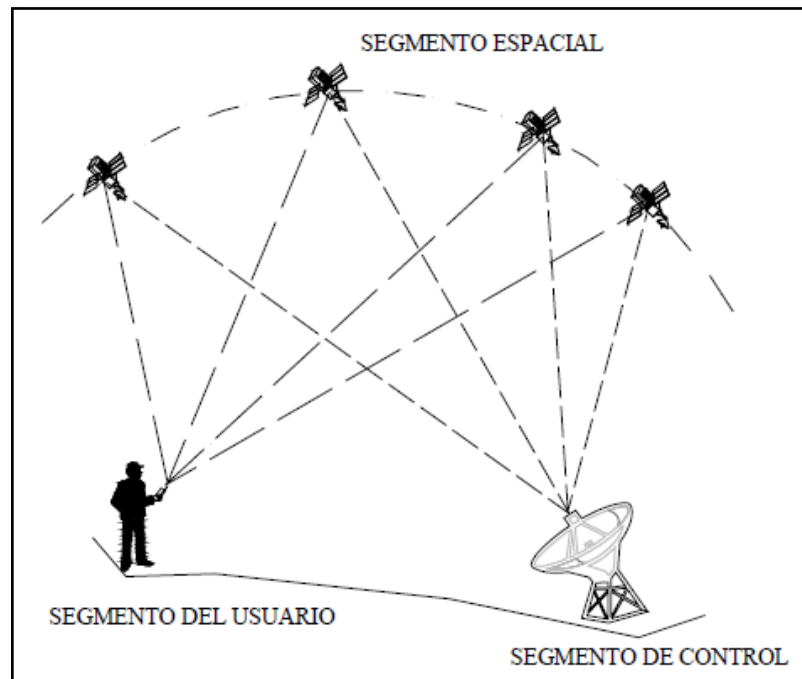


Fuente: *Sistema de posicionamiento global (GPS)*. <http://www.inegi.org.mx>. Consulta: 17 de agosto de 2016.

Cada uno de estos sectores recibe las señales GPS con receptores bifrecuencia que poseen relojes de alta precisión. Así mismo, se registra diversa información entre la que se debe destacar.

- Influencia que ejerce el campo magnético sobre el satélite
- Parámetros sobre la presión de la radiación solar
- Posibles fallos de los relojes atómicos
- Operatividad de cada uno de los satélites
- Posición aproximada para cada satélite de la constelación

Figura 23. **Segmentos del sistema de posicionamiento global**



Fuente: CASANOVA, Leonardo. *Topografía plana*. p. 276.

En la figura 23 se puede observar los tres segmentos del sistema de posicionamiento global y su relación. La estación principal está ubicada en Colorado Springs (USA) donde todos estos datos se transmiten y la información es procesada, así se obtiene la posición de los satélites en su órbita (su efemérides) y el estado de sus relojes para que luego los mismo satélites transmitan la información a los usuarios.

4.2. Tipos de receptores GPS

El software y el hardware de un receptor GPS son los elementos que permiten determinar la posición, velocidad y tiempo de un usuario, además de

otros parámetros adicionales que sean requeridos. Este instrumento recibe y decodifica la señal del satélite calculando las coordenadas del punto deseado.

Los receptores GPS pueden variar en términos de precisión, dimensiones, peso, capacidad para almacenar datos y número de satélites que utilizan para calcular la posición. Entre las funciones principales de un receptor se tiene:

- Identificación de los códigos asociados a cada satélite.
- Determinación de la distancia.
- Decodificación de las señales de datos de navegación para obtener las efemérides, el almanaque, etc.
- Aplicar las correcciones (del reloj, ionosféricas, etc.).
- Determinación de la posición y velocidad.
- Validación de los resultados obtenidos, almacenamiento en memoria y presentación de la información.

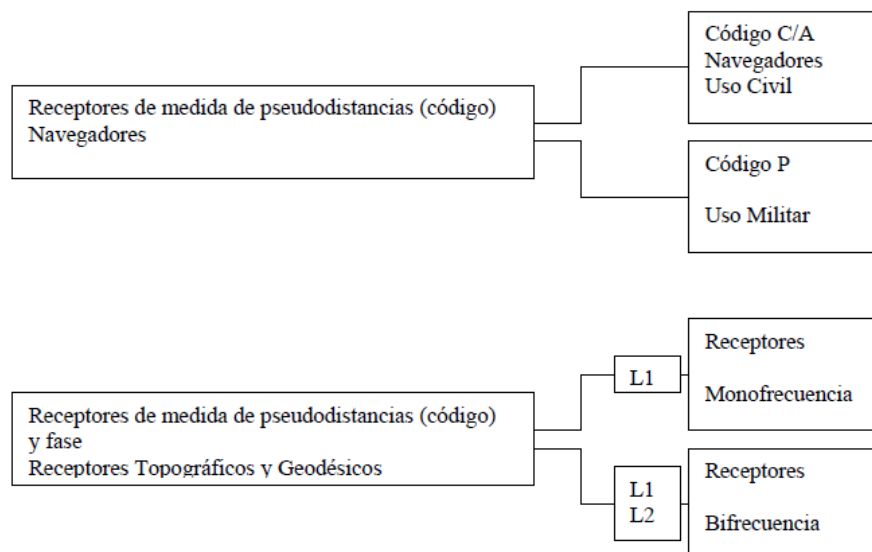
Actualmente los receptores GPS están diseñados con tecnología muy avanzada, permitiendo así equipo de hasta 12 circuitos sintonizados a la señal de un mismo satélite. Los componentes básicos de un receptor son:

- Antena para recibir la señal.
- Sección de radio frecuencia o canal.
- Microprocesador para el procesamiento de datos.
- Oscilador de precisión para la medición del tiempo de viaje de la señal.
- Fuente de energía eléctrica.
- Interfaces del usuario: panel de visualización y control o pantalla, teclado de comandos y manejo de datos.
- Memoria de almacenamiento.

La antena viene referida a nuestro posicionamiento, se conecta al receptor mediante un preamplificador. El objetivo de la antena es convertir en corriente eléctrica la energía electromagnética que recibe de los satélites y transferirla al receptor.

Para seguir simultáneamente a varios satélites los receptores GPS poseen diferentes canales, tienen un procesador interno para su soporte lógico, una unidad de memoria para almacenar información, teclado de control, pantalla para brindar comunicación con el usuario, conectores con funciones diversas y una fuente de alimentación. También se emplean trípodes, cables especiales y equipos de control meteorológico. Los receptores GPS podemos clasificarlos en función del observable que emplean para determinar la posición del punto (ver figura 24).

Figura 24. **Clasificación de los receptores GPS**



Fuente: *Aplicaciones topográficas del GPS*. <http://ocw.upm.es/ingenieria>. Consulta: 18 de agosto de 2016.

Existen dos tipos de receptores: los navegadores (utilizan medidas de pseudodistancias o código) y los receptores topográficos y/o geodésicos (utilizan medida de pseudodistancia y fase). Estos últimos también se pueden clasificar en receptores que registran la frecuencia L1 (código C/A) o bien registran las frecuencias L1 y L2 (bifrecuencia).

En la actualidad es difícil clasificar todos los tipos de receptores GPS existentes, ya que el mercado tiene un gran dinamismo y amplio abanico de productos. Existen otros tipos de clasificación: en función de su arquitectura (receptores secuenciales, continuos o multiplex), por el tipo de funcionamiento (análisis de fase portadora) y según al tipo de aplicaciones al que se destine. Siendo esta última clasificación la que se desarrollará en el presente documento.

Son diversas las marcas y referencias de receptores GPS existentes, sin embargo las más conocidas en cuanto a baja, mediana y alta precisión son: Leica, Trimble, GeoExplorer, MC-GPS y eTrex.

- Navegadores convencionales

El tipo de receptor GPS más conocido es el navegador convencional debido a su bajo costo y la diversidad de aplicaciones. Su funcionamiento consiste en leer el código C/A por la portadora L1, además es capaz de leer señales diferenciales vía radio o conexión software y presentar en una pantalla de cristal líquido cartografía sencilla.

Este tipo de receptor GPS permite ubicar las coordenadas tridimensionales en varios formatos y convertirlos a datum locales desde WGS84 (el sistema geodésico de referencia en GPS) de baja precisión.

También, permiten la navegación con indicación de rumbos, direcciones y señales audibles de llegada en rutas definidas por el usuario. En la figura 25 se puede apreciar un navegador convencional (también conocido como navegador de mano) de la casa comercial Garmin.

Figura 25. **Navegador GPS convencional**



Fuente: *GPS portátil*. <http://www.geodeticsac.com>. Consulta: 18 de agosto de 2016.

Sin disposición selectiva la precisión de estos equipos pueden ir de los 25 m a los 7 m referentes a planimetría y un error de 16 m en altimetría, esto depende de la geometría y visibilidad de los satélites.

- **GPS submétricos**

Recibe las mismas observables del equipo anterior, pero difiere en que se puede utilizar diferencialmente, esto quiere decir que existe un equipo de referencia fijo (estación base) y otro equipo móvil (estación móvil) en modo

estático o cinemático. Permite realizar correcciones y pueden alcanzar precisiones por debajo de 1 metro, esto depende del tipo de receptor y los algoritmos de cálculo, son aplicables a los campos de la cartografía y los programas de computadora denominados como GIS (sistema de información geográfica). En la figura 26 se puede apreciar un GPS submétrico de la casa Trimble.

Figura 26. **GPS submétrico marca Trimble**



Fuente: *Navegador GeoXH*. <http://www.geofumadas.com>. Consulta: 12 de abril de 2018.

- **Navegadores de código C/A avanzados**

Estos receptores analizan el código C/A y también lectura de la fase portadora L1 (con cierta limitación), permiten metodologías diferenciales bajo suscripciones a los servicios vía satélite como Omnistar® o LandStar® con precisiones en torno a 1 m en tiempo real. Son capaces de manejar bases de datos geográficas realizadas por el usuario por lo que son aptos para aplicaciones GIS.

Si estos aparatos se conectan con ordenadores portátiles y dispositivos móviles es posible capturar como replantear (ubicar coordenadas del plano en el terreno), con una precisión métrica. Ello es posible porque el sistema de posicionamiento global diferencial (DGPS) permite correcciones en tiempo real.

Cuando se utilizan sistemas de pago es muy frecuente que la corrección diferencial sea proporcionada vía satélite, teniendo la gran ventaja de corregir instantáneamente sin la necesidad de montar ninguna estación de referencia, y casi para cualquier parte del planeta tierra.

- GPS con medición de monofrecuencia

Son receptores que trabajan con la onda portadora L1, además de tomar medidas de código C/A también realizan medida de fase, acumulando información que con post procesado en gabinete permite obtener precisiones relativas centimétricas en el mejor de los casos para distancias de hasta 25 o 30 km y submétricas para distancias de hasta 50 km. Permiten el cálculo de vectores con su evaluación estadística y son aptos para el ajuste de redes.

Este tipo de receptores suelen ser usados con métodos relativos estáticos, con el uso de estaciones de referencia complementarias. Muchos de ellos son también compatibles con los servicios DGPS vía satélite, comentados anteriormente trabajando en lectura de código exclusivamente, mediante la incorporación de una tarjeta electrónica de expansión y la suscripción al sistema.

- GPS con medición de doble frecuencia

Este tipo de receptor trabaja con las dos portadoras L1 y L2, la ventaja radica en que disminuye los errores de propagación desigual sobre las capas atmosféricas (siendo la ionosfera la más crítica) y resolver un gran número de ambigüedades. En la figura 27 se puede apreciar un receptor GPS, la apariencia es muy similar así sean de doble o monofrecuencia.

Figura 27. **Receptor GPS de doble o monofrecuencia**



Fuente: *Acnovo México*. <http://www.acnovomexico.com>. Consulta: 24 de agosto de 2016.

Para distancias de hasta 10 km se obtienen precisiones por debajo del centímetro, mientras que para distancias de hasta 500 km se obtienen precisiones por debajo del metro siempre que se aplique un post proceso a los datos crudos, si se utilizan receptores bifrecuencia se permiten correcciones en

tiempo real. En este último caso lo más común es utilizarlos junto con algoritmos RTK (*real time kinematic*), que en combinación con estaciones de referencia permiten precisiones centimétricas. Si se combinan los servicios de corrección de última generación vía satélite con los receptores de doble frecuencia se obtienen precisiones decimétricas en tiempo real, aunque no es muy común observar este tipo de metodologías.

4.3. Funcionamiento del sistema

Ya que se conocen los componentes principales del sistema de posicionamiento global, ahora se puede analizar los fundamentos del proceso de medición, y para ello el sistema se basa en cinco fases: trilateración, distancias, tiempo, posición y corrección, estas cinco etapas se desarrollan a continuación.

- **Trilateración satelital**

La idea general detrás del sistema GPS es utilizar los satélites en el espacio como puntos de referencia para ubicaciones en la tierra. Esto se logra por medio de una exacta medición de distancia hacia al menos tres satélites, lo que permite triangular nuestra posición en cualquier parte de la tierra. Para una explicación sencilla olvidémonos por un instante sobre cómo mide nuestro GPS dicha distancia. Considérese primero como la medición de esas distancias nos permite ubicarnos en cualquier punto de la tierra.

Se va a suponer que se desea medir un punto sobre la superficie terrestre con ayuda de un receptor, primero se mide la distancia al primer satélite y resulta ser de 20 000 km (ver figura 28). Sabiendo que se está a 20 000 km de un satélite determinado, no se puede estar en cualquier punto del universo sino

que esto limita nuestra posición a la superficie de una esfera que tiene como centro dicho satélite y cuyo radio es de 20 000 km.

Figura 28. **Primera fase de la trilateración satelital**



Fuente: *Cómo funciona el sistema GPS, en 5 pasos lógicos.* <http://www.elgps.com>. Consulta: 24 de agosto de 2016.

Luego se mide la distancia a un segundo satélite y se descubre que se está a 21 000 km del mismo (ver figura 29). Esto dice que no se está solamente en la primera esfera, correspondiente al primer satélite, sino también sobre otra esfera que se encuentra a 21 000 km del segundo satélite. En otras palabras, se está en algún lugar de la circunferencia que resulta de la intersección de las dos esferas.

Figura 29. **Segunda fase de la trilateración satelital**

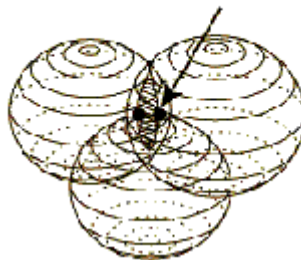


Fuente: *Cómo funciona el sistema GPS, en 5 pasos lógicos.* <http://www.elgps.com>. Consulta: 24 de agosto de 2016.

Si ahora se mide la distancia a un tercer satélite y se descubre que se está a 22 000 km del mismo (ver figura 30), esto limita nuestra posición aún más, a los dos puntos en los cuales la esfera de 22 000 km corta la circunferencia que resulta de la intersección de las dos primeras esferas.

Figura 30. **Tercera fase de la trilateración satelital**

Tres mediciones nos sitúa en dos puntos probables

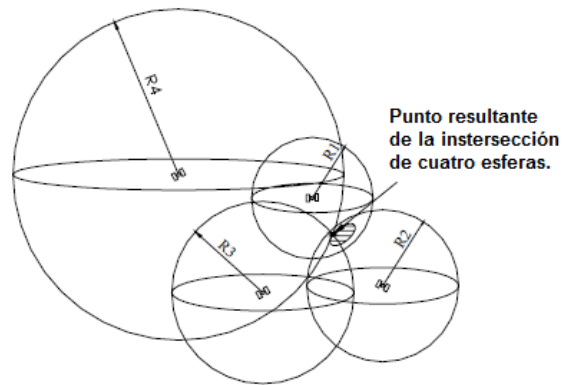


Fuente: *Cómo funciona el sistema GPS, en 5 pasos lógicos*. <http://www.elgps.com>. Consulta: 24 de agosto de 2016.

Si se desea conocer cuál de las dos puntos corresponde a nuestra posición, se tendría que efectuar una nueva medición a un cuarto satélite (ver figura 31), esta última medición es importante para determinar las coordenadas (x, y, z) y el tiempo del punto en cuestión.

Para simplificar el análisis anterior podemos resumir diciendo que midiendo nuestra distancia a tres satélites limitamos nuestro posicionamiento a solo dos puntos posibles, generalmente uno de los puntos posibles resulta incongruente y por lo tanto se puede descartar a simple vista, pero realizar una cuarta medición es importante ya que esto ayuda a determinar la posición sin necesidad de comparación; además, es un dato que nos sirve para los análisis posteriores.

Figura 31. Última fase de la trilateración satelital



Fuente: *Topografía plana*. <http://www.serbi.ula.ve>. Consulta: 25 de agosto de 2016.

- Distancia a los satélites

Ya se sabe que nuestra posición en el espacio se determina con la medición de distancias hacia por lo menos tres satélites, pero para medir la distancia de nuestro receptor hacia un objeto que está flotando (satélite), necesitamos medir el tiempo que tarda en llegar una señal emitida por este satélite hasta nuestro receptor GPS.

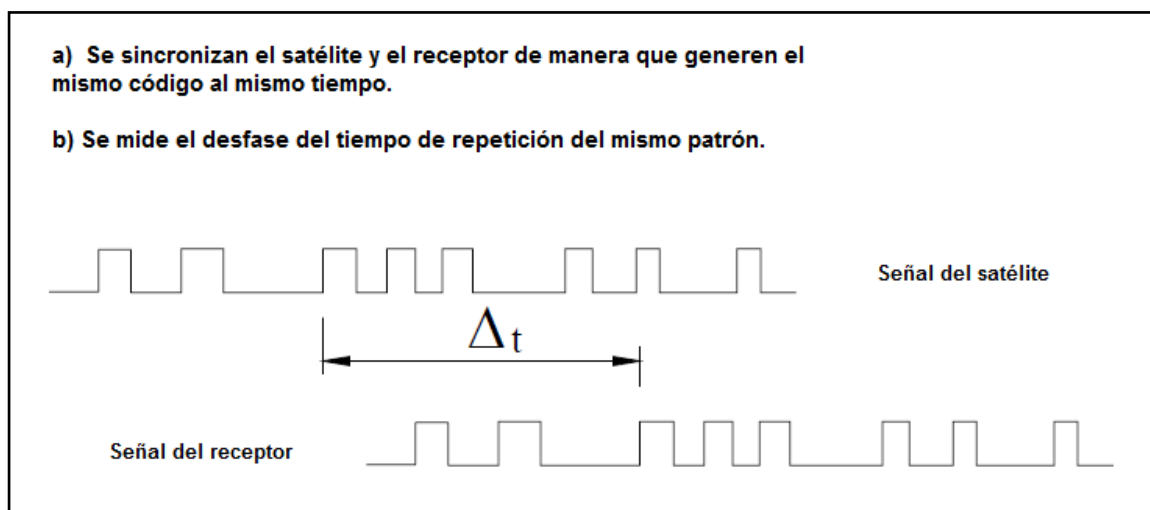
Para determinar la distancia se auxilia de la ecuación del movimiento rectilíneo uniforme que dice: la distancia recorrida es igual a la velocidad del objeto multiplicada por el tiempo que tarda desde el instante en que salió del punto de partida.

$$S = V * T$$

En la ecuación anterior la velocidad de la señal de radio es aproximadamente igual a la velocidad de la luz (300 000 km/s), mientras que

para determinar el tiempo en el que la señal parte del satélite se generan códigos pseudoaleatorios tanto en el satélite como el receptor, se generan en el mismo instante para luego determinar el desfase de tiempo entre ambas señales. En la figura 32 se puede apreciar el proceso anteriormente descrito.

Figura 32. **Medición del tiempo de la señal de radio GPS**



Fuente: *Topografía plana*. <http://www.serbi.ula.ve>. Consulta: 26 de agosto de 2016.

Todo receptor GPS utiliza dos métodos para determinar la distancia a los satélites, el primero mide la distancia por código y el segundo por desviación de fase portadora. Los receptores que miden la distancia por código son de grado de cartografía, mientras que, los de medición de fase portadora son de grado de levantamiento.

Distancia por código (navegación): es el tipo de receptor más sencillo ya que el operador no debe realizar ningún ajuste, el equipo realiza la sintonización de la señal con los satélites, ajusta su reloj, computa las distancias y calcula la posición correspondiente. La precisión de este equipo varía entre 7 m y 25 m.

Distancia por medición de desviación de fase portadora (control): es una técnica que proporciona datos más exactos y consiste en medir la desviación de fase de la señal desde el momento en que es transmitida por el satélite, hasta que es recibida por la estación terrestre. Esta metodología es similar al que utilizan los instrumentos de medición electrónica de distancias (MED). Es importante mencionar que no mide el número de longitud de onda completa o ciclos que ocurren durante el viaje de la señal, a este error se le denomina ambigüedad entera y se contrarresta con observaciones adicionales a otros satélites.

- Control del tiempo

La medición del tiempo es clave en el sistema GPS, ya que el desvío de un milésimo de segundo se traduce en un error de 300 km, por su parte los satélites poseen medición de tiempo casi perfecto ya que llevan a bordo relojes atómicos de increíble precisión.

Los receptores GPS no cuentan con relojes atómicos, ya que su tecnología resultaría demasiado costosa y nadie podría acceder a ellos. Para resolver este problema los receptores corrigen los errores en la medición del tiempo mediante una medición a un cuarto satélite. Resulta que si tres mediciones perfectas pueden posicionar un punto en un espacio tridimensional, cuatro mediciones imperfectas pueden lograr lo mismo.

- Posicionamiento del satélite

Se mencionó anteriormente que los satélites están a una altura aproximada de 20 200 km sobre la superficie terrestre, las ventajas de estar a

esta altura son que la atmosfera está bien despejada, el satélite orbitará de manera regular y predecible mediante ecuaciones matemáticas sencillas.

El Departamento de Defensa de los EEUU es el encargado de monitorear la posición de los satélites mediante el segmento de control, para ello utilizan radares muy precisos para controlar altura, posición y velocidad de cada satélite. Una vez medida la posición exacta del satélite el Departamento de Defensa envía dicha información al propio satélite, así éste incluye su nueva posición corregida en la información que transmite a través de sus señales GPS.

En tierra todos los receptores GPS tienen un almanaque programado en sus computadoras que les informan donde está cada satélite en el espacio en cada momento. Esto significa que la señal que recibe un receptor de GPS no es solamente un código pseudoaleatorio con fines de medir el tiempo. También contiene un mensaje de navegación con información sobre la órbita exacta del satélite.

- Corrección de errores

Hasta el momento se ha tratado el cálculo del sistema GPS de manera muy abstracta, como si todo ocurriera en un laboratorio con todas las variables controladas, pero se debe tener en cuenta la gran variedad de errores posibles, si se quiere aprovechar al máximo las ventajas del sistema GPS, entre estos factores tenemos que la velocidad de la luz solo es constante en el vacío, la señal de radio puede sufrir desviaciones por obstáculos en la superficie terrestre, desajustes en los satélites, entre otros.

4.4. Fuentes de error

Son diversos los errores que intervienen en el sistema GPS, algunas fuentes de error que intervienen pueden ser de origen natural, técnico e incluso voluntario. Se tiene el error inducido por los propios satélites y la geometría de los mismos, es decir la forma en que están distribuidos en el cielo.

Existen una serie de fuentes de error que degradan la precisión del sistema GPS, a pesar de que utiliza tecnología sofisticada y una inversión grande de dinero, algunos errores son propios del sistema e inevitables mientras que otras son controladas por el usuario. Se dividen en tres grandes grupos: errores relativos al satélite; errores relativos a la propagación de la señal en el medio y errores relativos al receptor.

- Errores relativos al satélite
 - Errores en los parámetros orbitales: también conocidos como errores de efemérides, si bien desde tierra se hacen mediciones permanentes de la posición orbital de todos los satélites, existen pequeños errores aleatorios en la determinación de dicha posición, estas inexactitudes son provocadas por algunos fenómenos naturales como las fuerzas gravitacionales de la luna y el sol, así como también la radiación solar generando pequeños errores en la altitud, posición y velocidad de los satélites. Por esa misma razón el segmento de control terrestre es el encargado de ajustar las señales de los satélites para corregir la órbita.

- Errores relativos a la propagación de la señal en el medio
 - Disponibilidad selectiva (S/A): consiste en una degradación intencional de la señal del sistema de posicionamiento global por mandato del gobierno estadounidense, para protegerse de ataques con misiles asistidos por GPS. La metodología utilizada fue introducir un error en la indicación de tiempo de los satélites lo cual degradaba la precisión horizontal en unos 100 m, el dos de mayo del año dos mil fue eliminado la introducción de este error.
 - Pérdida de ciclos: se presenta por interrupción o pérdida de la señal enviada por el satélite, esta interrupción puede ser causada por árboles, edificios, puentes, montañas, etc. El software interno del receptor es capaz (in situ) de detectar y corregir las pérdidas de ciclo.
- Receptor
 - Error en la manipulación del equipo: es un error referente al operador del equipo, ya sea por el mal manejo de los instrumentos o por no seguir las instrucciones debidas del proveedor. Es de vital importancia mencionar que no se debe iniciar una medición sin antes haber sincronizado perfectamente todos los satélites ya que esto introducirá ruido a la observación.
 - Errores propios del receptor: son referentes al equipo utilizado en la medición: el número de satélites que es capaz de sincronizar, las características de la antena, la antigüedad del equipo, etc. Una forma práctica para determinar la calidad de un receptor, es quedarse inmóvil en cualquier sitio y verificar los valores medidos por el aparato, si

presentan variación se considera de baja calidad, en caso contrario se puede concluir que el receptor GPS es de calidad alta y por lo tanto los errores inducidos serán mínimos. En la tabla V se puede observar la clasificación de los errores en el sistema GPS.

Tabla V. **Clasificación de los errores GPS**

Elemento	Fuente de error
Satélite	○ Errores en el oscilador (reloj) ○ Errores o variaciones en los parámetros orbitales
Propagación de la señal	○ Refracción ionosférica ○ Refracción troposférica ○ S/A. Disponibilidad Selectiva ○ Pérdida de ciclos ○ Trayectoria múltiple
Receptor	○ Errores en el oscilador (reloj) ○ Error en las coordenadas del punto de referencia ○ Error en el estacionamiento ○ Error en la manipulación del equipo ○ Variación y desfase del centro de la antena

Fuente: JIMÉNEZ, Andrés. *Sistema GPS y protocolo NTP*. p. 19.

4.4.1. Refracción

La señal de los satélites sufre una disminución en su velocidad debido a las distintas capas de la atmosfera, para compensar este tipo de error los equipos calculan un retardo promedio respecto a la velocidad. La refracción es debida a la ionósfera y a la tropósfera, este error pertenece al grupo de propagación de la señal en el medio.

- Refracción ionosférica

La ionosfera se encuentra entre los 100 km y 1 000 km de altitud, se caracteriza por poseer cantidades considerables de electrones lo que interfiere con la propagación de las ondas de radio. El valor del índice de refracción depende de la frecuencia de la onda, la densidad de electrones en el ambiente y en menor grado de la intensidad del campo magnético de la tierra.

Un aspecto importante es que el valor del error es negativo para la medida de la fase (existe un avance en la portadora y se miden distancias más pequeñas), mientras que para las pseudodistancias el valor es positivo (existe un retardo y se miden distancias más largas); sin embargo, tienen los mismos valores absolutos.

Ya que no se tiene un modelo matemático satisfactorio, se utilizan dos señales con distinta frecuencia para eliminar la refracción ionosférica. Se sabe que las longitudes de onda son distintas para ambas señales, por lo que obtendremos retardos distintos y así se podrá observar un retardo diferencial y predecir el error.

Debido a que no todos los equipos son capaces de trabajar con ambas frecuencias, tanto es pseudodistancias y en medida de fase, es necesario emplear métodos empíricos para corregir el error. El modelo utilizado se denomina TEC (contenido total de electrones en la ionosfera), esto está en función del tiempo, lugar y dirección de la señal. El error debido a la refracción ionosférica es aproximadamente de 4 m, usando esta metodología se puede reducir en un 50 % este efecto.

El retardo ionosférico depende del ángulo del satélite, siendo menor cuando se encuentra en el cenit y aumentando cuando el ángulo disminuye. El contenido total de electrones en la ionosfera es menor durante la noche por lo que se obtendrán menos errores en la observación.

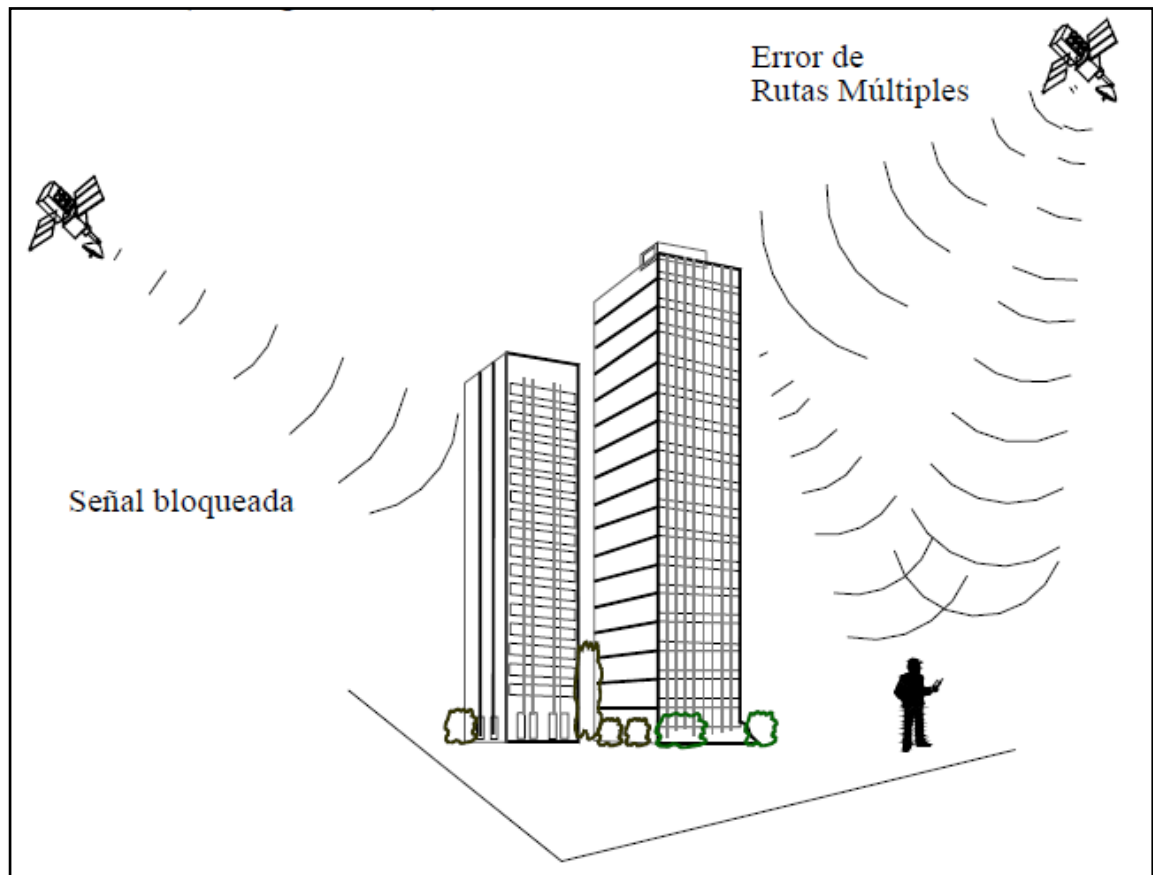
- Refracción troposférica

La troposfera es la última capa de la atmósfera comprendida en una zona de 80 km aproximadamente, siendo los últimos 40 km los más críticos ya que se tiene un descenso en la temperatura y donde se producen los retardos. No es necesario distinguir entre medidas de código y fase (portadoras L1 y L2), pero no es posible corregir el error mediante medidas en las dos frecuencias. El error inducido por la refracción troposférica se puede determinar mediante una integral que depende de la temperatura y la humedad, pero esta metodología queda fuera del alcance para un levantamiento topográfico por ser extremadamente complicados.

4.4.2. Error de trayectoria múltiple

Este efecto ocurre cuando la señal es reflejada en objetos como edificios y montañas antes de llegar al receptor por lo tanto pertenece al grupo de errores de propagación de la señal en el medio. Esto incrementa el tiempo de propagación o de viaje de una señal y pueden distorsionar significativamente la amplitud y forma de la onda. En la figura 33 se puede observar cómo actúa el efecto de trayectoria múltiple.

Figura 33. Efecto de trayectoria múltiple en el sistema GPS



Fuente: *Topografía plana*. <http://www.serbi.ula.ve>. Consulta: 28 de agosto de 2016.

Es posible reducir este efecto eligiendo ubicaciones estratégicas para el receptor, evitar las zonas de reflexión (edificios, vehículos, árboles, etc.), en ciertas ocasiones esto será imposible por lo que existen equipos modernos que cuentan con antenas que reducen considerablemente este error. Son afectadas en menor grado las medidas de fase, mientras que, las medidas de código pueden alcanzar errores hasta el nivel de metros.

4.4.3. Errores de satélite y receptor

Los relojes que poseen los receptores son menos precisos que los instalados en los satélites por lo que se producen ciertos errores de temporización, sin embargo, los relojes ubicados en los satélites no son perfectos y pueden presentar variaciones en la determinación de las distancias.

- Error del reloj del satélite

Los satélites que forman parte del sistema de posicionamiento global están equipados con relojes atómicos los cuales miden el tiempo que tarda la señal que transmiten los satélites en llegar al receptor, a pesar de ser tecnología muy sofisticada no implica que sean perfectos. Debido a esto se producen pequeños errores en la medición del tiempo y la distancia, un error de un nanosegundo en el reloj del satélite implica un error hasta de 0,30 m. Cada tres años los satélites acumulan el error de 1 nanosegundo.

La ubicación de los satélites juega un papel importante, ya que a partir de su posición se inicia con el proceso de la determinación de las coordenadas del receptor. Por esta razón los satélites son ubicados a una altitud de 20 200 km donde la gravedad no afecta sus órbitas circulares, aunque con el paso del tiempo la posición de la constelación de los satélites cambia y esto produce ciertos errores en el sistema.

- Error del reloj del receptor

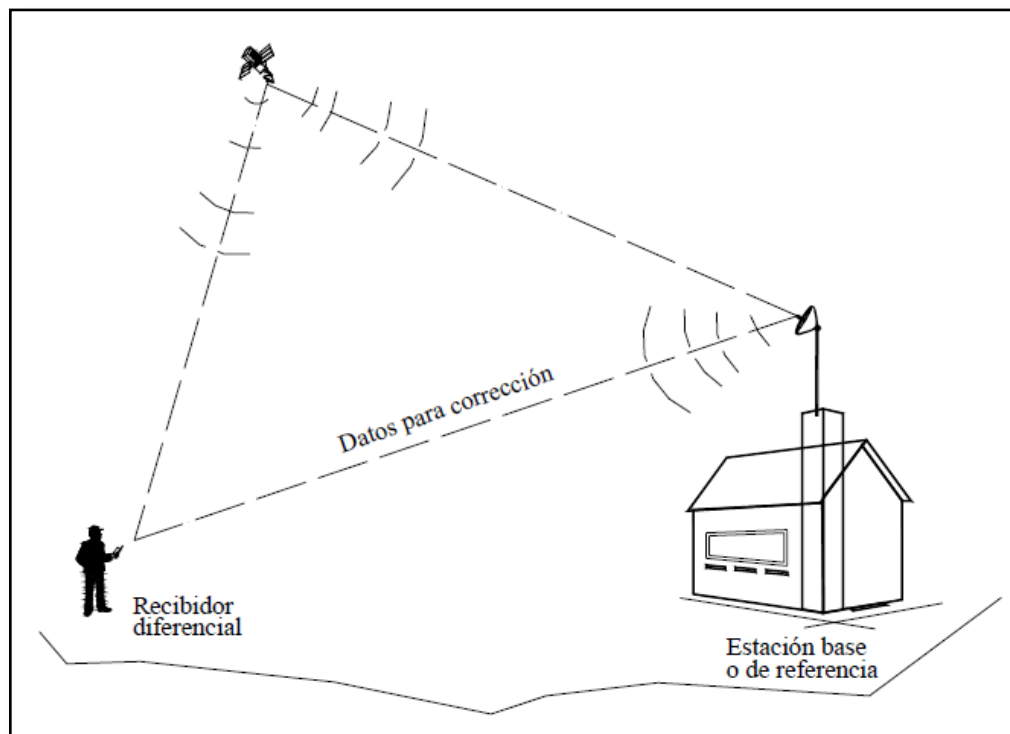
Los receptores están equipados con relojes de cuarzo y son menos precisos que los relojes atómicos colocados en los satélites, por lo tanto los cálculos para la determinación de la posición que realizan los relojes del

receptor tienen cierta inexactitud. Este error dependerá de la calidad y la especificación del receptor GPS, pero la mayoría introduce un error aproximado de 0,50 m.

- El GPS diferencial

En ciertos casos la precisión de los receptores GPS puede ser adecuada, sin embargo, para levantamiento topográfico o para el caso de aviones en aterrizaje la precisión brindada por los equipos es totalmente inadecuada, por esta razón existe el DGPS (*differential ground position system*). En la figura 34 se puede observar el mecanismo del DGPS (GPS diferencial).

Figura 34. **Esquema del GPS Diferencial**



Fuente: *Topografía plana*. <http://www.serbi.ula.ve>. Consulta: 29 de agosto de 2016.

El DGPS es un sistema que anula los errores intrínsecos del sistema y los provocados artificialmente, brindando precisiones de un 1 m para un receptor móvil y mejor para receptores estacionarios. Sin embargo los errores de los relojes en el satélite, sus órbitas y la atmosfera son difíciles de predecir y no pueden ser corregidos al 100 %.

Es necesario tener un receptor fijo denominado estación base, la característica principal es que las coordenadas de este punto sean conocidas. Este receptor de referencia recibe las mismas señales de los receptores comunes pero al conocer su posición exacta se pueden determinar los errores de los satélites en magnitud y sentido.

El objetivo principal de la estación base es comparar los datos que tiene en memoria con la información brindada de los satélites, la diferencia entre estas ubicaciones es el error en la señal GPS y se denomina distancia de corrección diferencial. Ya que los errores varían en el tiempo es necesario utilizar un segundo equipo denominado receptor móvil, la metodología consiste en que el receptor base monitorea continuamente el error y se lo envía a la estación móvil la cual aplica un factor de corrección a la distancia medida hacia los satélites.

4.5. Métodos de levantamiento

La metodología GPS provee ciertas ventajas en cuanto a precisión, productividad y rapidez; por esta razón las técnicas empleadas son muy diferentes a los procesos clásicos. Los procedimientos empleados en levantamientos GPS dependen de las capacidades de los receptores usados y del tipo de levantamiento. Es necesario realizar una distinción entre dos métodos existentes.

- Posicionamiento absoluto

Es el cálculo de la posición de un punto mediante la observación al menos a cuatro satélites, bien por medición de pseudodistancia de código o desviación de fase portadora, usualmente este sistema lo utilizan los navegadores convencionales.

- Posicionamiento relativo

Consiste en la determinación del vector que une dos puntos A y B, uno de ellos se establece como fijo y a este vector se le conoce como línea base. Las componentes se determinarán por incrementos de coordenadas o determinación del azimut. Para que el posicionamiento relativo se lleve a cabo es necesario que dos receptores A y B realicen observaciones simultáneas a dos satélites J y K en tiempos de observación próximos. La metodología brinda grandes precisiones ya que anula la mayoría de los errores sistemáticos.

Los métodos que se desarrollan en las páginas posteriores se basan en mediciones de fase de la onda portadora y usan técnicas de posicionamiento relativo; entre estos métodos se pueden mencionar: estático, estático rápido, pseudocinemático, cinemático y el cinemático en tiempo real.

4.5.1. Método estático

Es el primer método desarrollado para levantamientos GPS, ofrece gran precisión en distancias grandes, líneas base de hasta 20 km, por lo que requiere de un tiempo considerable para realizar las observaciones. Es utilizado en levantamientos de control geodésico, redes nacionales, continentales y monitoreo tectónico de placas.

La metodología para el trabajo de campo consiste en utilizar dos receptores, uno fijo denominado receptor base el cual se ubicará en un punto con coordenadas conocidas; mientras que el otro será el receptor móvil el cual se colocará en un punto con coordenadas desconocidas.

Para realizar la medición se ubican los equipos en los puntos de interés, para la primera sesión se hacen observaciones simultáneas a cuatro o más satélites con un tiempo aproximado de una hora; el tiempo depende de la longitud de la línea base. Registrados los datos de la primera sesión se realiza la siguiente: moviendo el receptor móvil hacia el otro punto de interés y se mide otra línea base. Para obtener mejores resultados se recomienda utilizar un tercer receptor GPS, las precisiones alcanzadas con este método están entre los $\pm (3 \text{ mm} + 1 \text{ ppm})$.

En el caso en que se utilicen varios tres o más receptores GPS, en la primera sesión se ubican todos los receptores en los puntos de interés y se realiza la observación simultánea a los satélites. Para la segunda sesión se mueven los receptores excepto uno, el cual queda como estación base durante toda la medición y para todas las sesiones posteriores. El levantamiento finaliza cuando todas las estaciones hayan sido ocupadas y las líneas base formen figuras geométricamente cerradas; para finalizar se trasladan los datos a una computadora para su post-proceso.

4.5.2. Método estático rápido

La metodología utilizada es la misma que en el método anterior, se requiere de dos o más receptores GPS, se establece un receptor base con coordenadas conocidas y un receptor móvil el cual se mueve sucesivamente de

un punto desconocido al siguiente, la diferencia se encuentra en que los tiempos de observación de cada sesión son más cortos.

Este método es adecuado para trabajos que requieran levantar demasiados puntos y para levantamientos de corta alcance ya que es sencillo, rápido y eficiente. Se utiliza para levantamientos de control, inventarios urbanos mediante GIS (sistema de información geográfica), triangulación local, etc.

4.5.3. Método cinemático

Empleado para levantamientos de detalles y para la medición de muchos puntos de sucesión corta. Se trata de un método muy eficiente para medir muchos puntos que están muy cerca uno de otro. Este levantamiento involucra un móvil que se desplaza y cuya posición puede ser calculada en relación con la referencia, por lo tanto se requieren dos o más receptores.

Antes de iniciar la medición es necesario inicializar los receptores GPS, esto con el objetivo de resolver la ambigüedad de ciclo del sistema. La ambigüedad es el número total de ciclos que tiene la señal a medida que viaja del satélite al receptor, se describen algunos métodos para realizar esta inicialización:

- Métodos de inicialización

El primer método consiste en medir una línea base con coordenadas conocidas, es decir se realizará una observación en modo estático (10 a 15 min), ya que se conocen las diferencias de las coordenadas de la línea base, la diferencia de las observaciones realizadas en el post proceso darán la ambigüedad de ciclo.

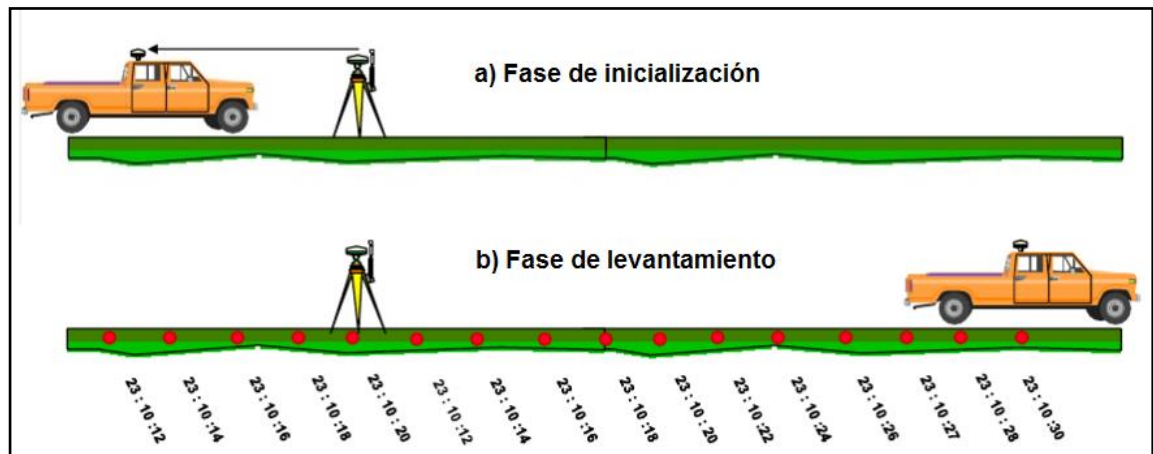
El segundo método consiste en colocar el receptor A en el punto de control y el receptor B se coloca a no más de 10 m del perímetro. Se hacen observaciones simultáneas a los satélites durante unos minutos, se intercambian los receptores mientras se mantienen funcionando y se dejan en observación simultánea durante varios minutos. Se intercambian nuevamente regresándolos a sus posiciones iniciales, la ambigüedad de ciclo se determina en el post proceso mediante diferenciación. Se debe ser cuidadoso en los momentos en los que se hacen los traslados ya que los receptores deben permanecer enlazados a por lo menos cuatro satélites para que se realice el rastreo continuo, este método de inicialización se denomina: cambio de antena.

La tercera y última técnica para la determinación de la ambigüedad de ciclo se denomina resolución de ambigüedad ultrarrápida (OTF: *on the fly*), mediante un algoritmo matemático se determina la ambigüedad. Es eficiente para líneas base de hasta 20 km y se necesita de un receptor fijo y otro móvil.

- Realizando el levantamiento

Tal como se muestra en la figura 35, terminada la inicialización, se coloca el receptor base en la estación de control, mientras que el receptor móvil se desplaza de punto a punto a lo largo de una línea, realizando la recolección de datos. Esto es lo que se conoce como cadena cinemática. Sin embargo, cuando se opera en levantamientos cinemáticos debemos evitar movernos cerca de objetos que pudieran bloquear las señales de los satélites, produciendo obstrucciones en el cielo, como árboles, edificios altos, etc. ya que si en algún punto el Móvil rastrea menos de 4 satélites, hay que detenerse, desplazarse a una posición donde se registren 4 o más satélites y realizar nuevamente la iniciación antes de continuar.

Figura 35. Metodología para realizar levantamiento cinemático



Fuente: *Diferentes tipos de levantamientos y aplicaciones GPS*. <https://es.scribd.com>. Consulta: 31 de agosto de 2016.

4.5.4. Método cinemático en tiempo real (RTK)

El procedimiento anteriormente descrito requiere que los datos recolectados por los receptores sean temporalmente almacenados hasta que se termina el trabajo de campo. Los datos deben ser post procesados para obtener posiciones de los puntos levantados. Un levantamiento RTK (*real-time-kinematic*), tal como lo indica su nombre, permite que las posiciones de puntos sean determinadas instantáneamente conforme el receptor (o receptores) móvil ocupa cada punto.

En este método, se necesita un receptor de referencia y uno móvil. Ambos estarán conectados a través de un enlace de radio, de manera que la estación de referencia retransmite los datos que recibe de los satélites al móvil, que a su vez recibe también los datos directamente de los satélites a través de su propia antena. A partir de estos dos conjuntos de datos, es posible la resolución de las

ambigüedades y obtener una posición bastante precisa con respecto al receptor (estación) de referencia. Estas coordenadas serán diferenciales respecto de la referencia, alcanzando precisiones entre 1 y 5 centímetros.

Es importante mencionar que los receptores deben estar enlazados en todo momento, ya que si la señal se pierde (debido a edificios, árboles o cualquier obstrucción) la calidad en la precisión disminuye considerablemente. En el estacado de construcciones y localizaciones de mapeo topográfico se utilizan los levantamientos cinemáticos en tiempo real.

Entre las ventajas que tiene un levantamiento cinemático en tiempo real (RTK) sobre un levantamiento cinemático con post proceso: el tiempo de trabajo de gabinete es menor, se pueden verificar las mediciones en el campo y los datos se pueden trasladar inmediatamente a un GIS. Además se puede utilizar en conjunto con las estaciones totales, brindando alta precisión en áreas pequeñas.

4.6. Procesamiento de datos

Para realizar el post-proceso de las observaciones realizadas debemos pasar los datos del receptor GPS a la computadora, generalmente los proveedores de los equipos brindan el software para el post-proceso de los datos. Existen tres tipos de software: línea base individual, procesamiento por sesión y soluciones de puntos múltiples. A continuación se proporciona una idea general del post-proceso de los datos.

- Se deben trasladar los archivos del receptor a la computadora, el software como ya se mencionó lo proporciona el proveedor del equipo.

- Verificar que todos los archivos hayan sido trasladados a la computadora.
- El método de la línea base realiza lo siguiente: (1) genera archivos de orbitas, (2) calcula posiciones a partir de las pseudodistancias de código, (3) estima las componentes de los vectores y (4) calcula las componentes de la línea base (ΔX , ΔY y ΔZ).
- El cálculo estadístico determina el promedio, la desviación estándar para cada archivo y el error circular probable (CEP). Por lo tanto determina la precisión de las lecturas (dispersión de la nube de puntos) más no la exactitud con que se estima la ubicación del punto.
- Si se trabaja con DGPS es necesario procesar los archivos con la opción diferencial que proporciona el software.
- Exportación de archivos en formatos GIS y CAD.
- Permite combinar archivos y editarlos, para trabajos grandes que requieren de mediciones de varios días.

5. EJECUCIÓN DE MEDICIONES

Ya que se han analizado los fundamentos teóricos de los métodos de nivelación diferencial, levantamiento con estación total y GPS (sistema de posicionamiento global), corresponde al presente capítulo desarrollar la documentación del trabajo de campo sobre las mediciones a realizar, para posteriormente elaborar la comparación de resultados y establecer el método más exacto y preciso. La metodología utilizada para establecer la comparación se basa en la medición de un perfil topográfico ubicado dentro del campus de la Universidad de San Carlos de Guatemala, zona 12.

Para ello se realizarán las respectivas mediciones con los tres instrumentos topográficos, y luego se realizará la comparación de los resultados obtenidos mediante los tres métodos con información geodésica de los bancos de marca del IGN (Instituto Geográfico Nacional); dichos bancos de marca (BM) corresponden al punto de inicio y final de todas las mediciones convenientemente.

El perfil topográfico será necesario para los levantamientos con nivelación diferencial y estación total; mientras que para la medición con GPS, solo será necesario medir el punto de partida y el punto final del perfil, ya que por ser un método de posicionamiento de satélites, no se necesita realizar un recorrido para conocer las variables de planimetría y altimetría. Las tablas y figuras presentadas son derivadas de un procedimiento de campo y gabinete; describen los datos tomados en campo y sus resultados finales analizados en el trabajo de gabinete; es decir, las libretas finales, croquis, observaciones y descripciones realizadas durante la práctica.

Para todos los levantamientos el punto de inicio será en el banco de marca (BM-1) ubicado sobre la avenida Petapa, frente al ingreso de la universidad; se realizará el recorrido por todo el perímetro del campus sobre la carretera principal hasta finalizar en el segundo banco de marca (BM-2) ubicado a un costado del edificio de Rectoría de la Usac. Según la teoría del capítulo 2, subtítulo 2.1 esta medición pertenece a un levantamiento de tercer orden, ya que solo se realizará un levantamiento local de control.

5.1. Levantamiento con estación total

Para realizar el levantamiento con estación total se tomaron en cuenta todos los principios, recomendaciones y procesos explicados en el capítulo 3, adaptándolos a conveniencia de las condiciones geográficas, climatológicas y topográficas del sitio medido.

Para realizar la medición se utilizaron los instrumentos proporcionados por el área del arsenal topográfico del departamento de topografía y transportes de la escuela de ingeniería civil de la Universidad de San Carlos de Guatemala, dicha instrumentación constaba de los siguientes aparatos:

- Estación total Trimble M3 serie DR (especificaciones en los anexos 1 y 2)
- Prisma estándar
- Bastón porta prisma con su respectiva punta
- Cinta métrica de nailon de 50 m de longitud marca INDEX +/- 2 mm

5.1.1. Datos obtenidos

Las mediciones se realizaron sobre la carretera principal de la ciudad universitaria, se eligieron las estaciones de acuerdo a la visibilidad y topografía

del sitio separadas una de otra a una distancia de 10 y 50 metros. La simbología utilizada para las estaciones fue un punto encerrado por una circunferencia, denominando la estación con la letra E seguido por el número correspondiente a dicho sitio (ver figura 36).

Figura 36. **Simbología utilizada para las estaciones**



Fuente: elaboración propia.

Es importante mencionar que la estación total utilizada tiene un alcance de 3 000 metros con un prisma estándar, pero como el objetivo principal es realizar una comparación con los otros aparatos se eligieron distancias cortas, ya que el alcance de un nivel de precisión es muy limitado si se compara con una estación total; un dato importante de la estación total es que en modo prisma no puede realizar mediciones a una distancia menor o igual a 1,5 metros y en el modo de reflexión directa (sin prisma) el alcance máximo es de 400 m.

Ya que la estación total utiliza la medición electrónica de distancias, se debe ser cuidadoso con las especificaciones anteriormente descritas para no

incurrir en errores accidentales que afecten significativamente el levantamiento, entre otras cosas que se observaron se debe tomar muy en cuenta lo siguiente:

- Cuando se inicie en una nueva estación es indispensable tomar la altura del instrumento e insertarla en el aparato, así como también cada que se realice una observación al prisma es necesario tomar la altura del prisma y tabularlo en la estación total.
- Para realizar una medición libre de errores sistemáticos y accidentales es necesario tener el prisma a plomo, esto se logra con el nivel de burbuja circular que se encuentra situado en la porta prisma (bastón).
- Se debe tener el absoluto cuidado en que la última estación observada sea completamente visible, ya que para amarrar las estaciones subsiguientes es necesario colocarse en el último punto observado y realizar la mira hacia donde se colocó el instrumento en la medición anterior.

5.1.2. Procesamiento de datos

Ya que para este método se utilizó como herramienta principal la estación total, no fue necesario realizar un procesamiento de datos muy extenso. Es importante mencionar que en la pantalla del aparato se pueden visualizar los puntos medidos en la función mapa; también, se puede apreciar la información de dichos sitios: como el norte, el este, la cota y el nombre de la estación.

Ya que el microprocesador de una estación total difiere del de una computadora, los archivos que se muestran en una estación total tienen una extensión .JOB el cual no es reconocible para una PC de usuario común. En el caso en que la estación total sea antigua se tendrá que utilizar software

adicional para obtener los datos y realizar los respectivos planos; pero si se cuenta con tecnología más o menos reciente, la conversión de archivos se puede realizar desde el propio instrumento. Para este caso se utilizará la segunda opción, y antes de transferir el archivo a un dispositivo usb, se realizó la respectiva conversión a formato .DWG y .CSV que son archivos típicos manejados por programas como AutoCad y Excel.

Tabla VI. **Procesamiento de datos con estación total**

P.O.	Norte (m)	Este (m)	Elevación (m)
BM-1	1 614 200,610	764 484,150	1 491,744
E-1	1 614 228,797	764 442,592	1 491,398
E-2	1 614 233,246	764 369,963	1 490,625
E-3	1 614 245,143	764 312,874	1 488,919
E-4	1 614 248,617	764 287,099	1 488,140
E-5	1 614 260,151	764 215,309	1 486,191
E-6	1 614 217,105	764 132,527	1 485,895
E-7	1 614 172,722	764 129,128	1 485,566
E-8	1 614 115,110	764 121,514	1 485,273
E-9	1 614 023,182	764 111,394	1 484,440
E-10	1 613 908,576	764 068,877	1 483,138
E-11	1 613 933,960	763 909,130	1 483,152
E-12	1 613 943,822	763 795,506	1 482,314
E-13	1 613 865,837	763 769,144	1 481,206
E-14	1 613 840,693	763 766,047	1 481,068
E-15	1 613 814,055	763 762,403	1 481,046
E-16	1 613 751,630	763 753,762	1 480,377
E-17	1 613 705,000	763 750,775	1 479,394
E-18	1 613 674,983	763 679,291	1 477,429
E-19	1 613 677,121	763 612,446	1 475,946
E-20	1 613 619,976	763 553,950	1 474,410
E-21	1 613 598,101	763 537,991	1 474,246
E-22	1 613 576,243	763 522,093	1 474,110
E-23	1 613 530,567	763 487,571	1 473,804

Continuación de la tabla VI.

E-24	1 613 508,186	763 470,864	1 473,680
E-25	1 613 484,372	763 447,313	1 473,603
E-26	1 613 493,382	763 376,680	1 472,903
E-27	1 613 497,264	763 348,385	1 472,342
E-28	1 613 493,393	763 317,216	1 471,364
E-29	1 613 530,940	763 230,117	1 469,915
E-30	1 613 605,149	763 237,359	1 470,903
E-31	1 613 687,988	763 248,797	1 472,437
E-32	1 613 709,576	763 251,643	1 472,864
E-33	1 613 774,522	763 261,736	1 473,862
E-34	1 613 798,843	763 274,436	1 474,305
E-35	1 613 846,893	763 318,007	1 475,156
E-36	1 613 857,385	763 341,341	1 475,583
E-37	1 613 860,361	763 362,030	1 475,933
E-38	1 613 897,051	763 404,782	1 477,476
E-39	1 613 909,536	763 414,933	1 477,960
E-40	1 613 956,207	763 443,332	1 479,568
E-41	1 613 974,933	763 448,670	1 480,073
E-42	1 614 029,516	763 463,925	1 481,650
E-43	1 614 083,398	763 479,455	1 482,804
E-44	1 614 109,820	763 486,815	1 482,954
E-45	1 614 133,204	763 493,544	1 483,165
E-46	1 614 183,280	763 507,644	1 483,914
E-47	1 614 208,896	763 515,002	1 484,245
E-48	1 614 234,464	763 522,154	1 484,554
E-49	1 614 258,216	763 547,360	1 484,721
E-50	1 614 284,997	763 555,449	1 485,133
E-51	1 614 303,009	763 564,943	1 485,458
E-52	1 614 328,895	763 610,261	1 486,232
E-53	1 614 319,687	763 634,464	1 486,469
E-54	1 614 312,656	763 690,271	1 487,933
E-56	1 614 276,031	763 744,961	1 488,754

Continuación de la tabla VI.

E-57	1 614 247,794	763 741,472	1 488,799
BM-2	1 614 213,068	763 733,670	1 488,576

Fuente: elaboración propia.

Luego de obtenidos los datos, se procedió a ordenarlos y brindarles un formato estético, los cuales se muestran en la tabla VI de la página anterior; donde se puede observar toda la información obtenida durante el levantamiento.

Con relación a los errores obtenidos en los cambios de estación con el aparato, se presentaron diferencias que varían entre 2,00 mm y 1,00 cm. Así mismo, se puede decir que el tiempo utilizado para el procesamiento de datos en levantamientos con estación total es mínimo y sin mayor dificultad.

5.2. Levantamiento con nivel

Para la realización del levantamiento utilizando nivel de precisión se utilizaron los principios, recomendaciones y metodologías desarrolladas en el capítulo 2, para ello se auxilió del método de nivelación diferencial compuesta explicada en el capítulo 2.2.1 inciso (b), respectivamente. La medición con nivel de precisión se realizó con los instrumentos proporcionados por el departamento de topografía y transportes, entre estos aparatos se puede mencionar:

- Nivel de precisión marca SOUTH NL-28 (especificaciones en anexos 3 y 4)
- Trípode de aluminio
- Estadal múltiple de 3 metros de altura

- Nivel de burbuja circular para estadal
- Cinta métrica de nailon de 50 m de longitud marca INDEX +/- 2 mm

5.2.1. Datos recolectados

Para dicho levantamiento se utilizó el mismo recorrido que se realizó con la estación total, con la diferencia de que los puntos donde se centró y niveló el nivel de precisión fueron distintos, ya que el principio de la nivelación diferencial es colocar una línea imaginaria totalmente horizontal e ir midiendo a partir de dicha línea las diferencias de nivel que presenta el terreno; la topografía del suelo es una de las limitantes más significativas de este método porque en pendientes muy inclinadas se pierde fácilmente la visibilidad del estadal, lo que conlleva a un número mayor de puntos donde se estaciona el instrumento.

Así mismo, los puntos observados con el nivel de precisión no deben estar a distancias muy grandes, ya que dependiendo del alcance del instrumento se hace más difícil leer el estadal mientras más lejos se encuentre. En el momento cuando se elige un sitio para centrar y nivelar el instrumento se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- Se debe buscar suelo firme y libre de vibraciones para el centrado del nivel.
- En cada nueva estación se debe realizar la vista atrás (VA), para amarrar la medición y realizar el respectivo cálculo de cotas, eso quiere decir que cada sitio donde se coloque el aparato se debe visualizar a un punto anterior; al mismo tiempo, debe ser posible observar las estaciones subsiguientes.
- Para lograr lo anteriormente descrito se recomienda centrar el nivel de precisión en sitios más altos respecto a los puntos observados, siempre y

cuando se respete la altura del estadal; de lo contrario, tampoco se podrá visualizar el punto de interés.

- Se recomienda no utilizar alturas grandes de estadal en lugares con demasiado viento, ya que se dificulta la posición a plomo del aparato.
- El sitio donde se coloca el nivel de precisión solo dependerá del criterio y juicio del topógrafo, ya que los datos de dicho punto no interesan a la medición. Es decir que no se necesitan para el análisis posterior de datos.

En toda medición con el método de nivelación diferencial se obtendrá la siguiente información: (a) nombres de los puntos observados y sitios donde se centró y niveló el instrumento; (b) vistas atrás VA, necesario al comenzar en una nueva posición del instrumento e inicia en el sitio de cota conocida; (c) vista intermedia VI, puntos subsiguientes a medir; (d) punto de vuelta PV, es el último punto observado antes de cambiarnos de estación, debe ser posible visualizarlo en el siguiente sitio donde coloquemos el nivel de precisión.

En la tabla VII, se pueden observar los datos tomados de la medición utilizando el método de nivelación diferencial compuesta; es necesario mencionar que se suprimieron dos campos de la libreta topográfica, los cuales serán adheridos en el subtítulo siguiente perteneciente al análisis de datos.

Tabla VII. **Datos recolectados de la medición con nivel de precisión**

EST.	P.O.	VA (+)	VI (-)	PV	Descripción
A	BM-1	1,17			Avenida Pétapa
A	E-1		1,51		EFPEM
A	E-2			2,25	EFPEM
B	E-2	0,76			EFPEM
B	E-3		2,49		EFPEM

Continuación de la tabla VII.

B	E-4			3,27	EFPEM
C	E-4	0,55			EFPEM
C	E-5			2,49	Parada de buses
D	E-5	1,00			Parada de buses
D	E-6		1,34		Paso de cebra
D	E-7			1,67	Odontología
E	E-7	1,26			Odontología
E	E-8		1,58		Estadio
E	E-9			2,42	Estadio
F	E-9	0,24			Estadio
F	E-10			1,57	Estadio
G	E-10	0,99			Estadio
G	E-11			0,98	Humanidades
H	E-11	1,55			Humanidades
H	E-12			2,42	Humanidades
I	E-12	0,56			Humanidades
I	E-13		1,57		Biblioteca Central
I	E-14		1,76		Calusac
I	E-15			1,78	Calusac
J	E-15	1,15			Calusac
J	E-16		1,80		Agronomía
J	E-17			2,85	Agronomía
K	E-17	0,26			Agronomía
K	E-18		2,13		Escuela
K	E-19			3,57	Escuela
L	E-19	0,11			Escuela
L	E-20		1,69		Edificio S-12
L	E-21		1,86		Edificio S-12
L	E-22			1,99	Edificio S-12
M	E-22	1,16			Edificio S-12
M	E-23		1,47		Edificio S-12
M	E-24		1,63		Edificio S-11
M	E-25			1,68	Edificio S-11
N	E-25	0,96			Edificio S-11

Continuación de la tabla VII.

N	E-26		1,66		Edificio S-11
N	E-27		2,22		Edificio S-11
N	E-28			3,18	Edificio S-11
P	E-28	0,62			Edificio S-11
P	E-29			2,06	Edificio S-10
Q	E-29	1,69			Edificio S-10
Q	E-30			0,71	Edificio S-10
R	E-30	2,40			Edificio S-10
R	E-31		0,87		Edificio S-10
R	E-32			0,42	EPS
S	E-32	2,03			EPS
S	E-33		1,01		EPS
S	E-34			0,57	Veterinaria
T	E-34	2,09			Veterinaria
T	E-35		1,26		Veterinaria
T	E-36		0,83		Veterinaria
T	E-37			0,48	Farmacia
U	E-37	2,57			Farmacia
U	E-38		1,04		Farmacia
U	E-39			0,55	Farmacia
V	E-39	2,46			Farmacia
V	E-40		0,85		Farmacia
V	E-41			0,35	CII
W	E-41	2,17			CII
W	E-42			0,59	CII
X	E-42	2,01			CII
X	E-43		0,85		CII
X	E-44		0,71		Edificio T-3
X	E-45			0,50	Edificio T-3
Y	E-45	1,77			Edificio T-3
Y	E-46		0,98		Edificio T-3
Y	E-47		0,64		Edificio T-3
Y	E-48			0,37	Edificio T-3
Z	E-48	1,34			Edificio T-3

Continuación de la tabla VII.

Z	E-49		1,18		Edificio T-3
Z	E-50		0,77		Arquitectura
Z	E-51			0,43	Arquitectura
AA	E-51	1,87			Arquitectura
AA	E-52		1,11		Arquitectura
AA	E-53			0,89	Arquitectura
BB	E-53	2,34			Arquitectura
BB	E-54		0,88		Arquitectura
BB	E-55			0,83	Rectoría
CC	E-55	1,81			Rectoría
CC	E-56		1,02		Rectoría
CC	E-57		0,98		Rectoría
CC	BM-2			1,21	Rectoría

Fuente: elaboración propia.

5.2.2. Procesamiento de datos recolectados

Habiendo realizado las mediciones previas, se procedió al análisis de los datos respectivos. El proceso de los datos obtenidos con una nivelación diferencial compuesta se puede realizar de manera práctica con una calculadora convencional o bien mediante el software computacional Excel, el cual brinda muchas facilidades al momento de efectuar los cálculos.

Respecto al tiempo que toma el procedimiento de gabinete, depende mucho de la cantidad de puntos observados y de los cambios de estación que se realizaron durante la medición; para este caso el análisis de datos se realizó con software computacional y se llevó alrededor de 30 minutos para transcribir los datos de campo, calcular las cotas y hacer el chequeo de libreta. En la tabla VIII, se puede apreciar la libreta de campo con su respectivo trabajo de

gabinete realizado, respecto a la libreta de campo presentada en el subtítulo anterior (tabla VII), esta cuenta con los campos correspondientes a las cotas y altura del instrumento.

Tabla VIII. Análisis de datos de la libreta de campo con nivel de precisión

EST.	P.O.	VA (+)	HI	VI (-)	PV	Cota
A	BM-1	1,17	1 492,91			1 491,74
A	E-1		1 492,91	1,51		1 491,40
A	E-2		1 492,91		2,25	1 490,66
B	E-2	0,76	1 491,42			
B	E-3		1 491,42	2,49		1 488,93
B	E-4		1 491,42		3,27	1 488,15
C	E-4	0,55	1 488,70			
C	E-5		1 488,70		2,49	1 486,21
D	E-5	1,00	1 487,21			
D	E-6		1 487,21	1,34		1 485,87
D	E-7		1 487,21		1,67	1 485,54
E	E-7	1,26	1 486,80			
E	E-8		1 486,80	1,58		1 485,22
E	E-9		1 486,80		2,42	1 484,38
F	E-9	0,24	1 484,62			
F	E-10		1 484,62		1,57	1 483,05
G	E-10	0,99	1 484,04			
G	E-11		1 484,04		0,98	1 483,06
H	E-11	1,55	1 484,61			
H	E-12		1 484,61		2,42	1 482,19
I	E-12	0,56	1 482,75			
I	E-13		1 482,75	1,57		1 481,18
I	E-14		1 482,75	1,76		1 480,99
I	E-15		1 482,75		1,78	1 480,97
J	E-15	1,15	1 482,12			
J	E-16		1 482,12	1,80		1 480,32
J	E-17		1 482,12		2,85	1 479,27

Continuación de la tabla VIII.

K	E-17	0,26	1 479,53			
K	E-18		1 479,53	2,13		1 477,40
K	E-19		1 479,53		3,57	1 475,96
L	E-19	0,11	1 476,07			
L	E-20		1 476,07	1,69		1 474,38
L	E-21		1 476,07	1,86		1 474,21
L	E-22		1 476,07		1,99	1 474,08
M	E-22	1,16	1 475,24			
M	E-23		1 475,24	1,47		1 473,77
M	E-24		1 475,24	1,63		1 473,61
M	E-25		1 475,24		1,68	1 473,56
N	E-25	0,96	1 474,52			
N	E-26		1 474,52	1,66		1 472,86
N	E-27		1 474,52	2,22		1 472,30
N	E-28		1 474,52		3,18	1 471,34
P	E-28	0,62	1 471,96			
P	E-29		1 471,96		2,06	1 469,90
Q	E-29	1,69	1 471,59			
Q	E-30		1 471,59		0,71	1 470,88
R	E-30	2,40	1 473,28			
R	E-31		1 473,28	0,87		1 472,41
R	E-32		1 473,28		0,42	1 472,86
S	E-32	2,03	1 474,89			
S	E-33		1 474,89	1,01		1 473,88
S	E-34		1 474,89		0,57	1 474,32
T	E-34	2,09	1 476,41			
T	E-35		1 476,41	1,26		1 475,15
T	E-36		1 476,41	0,83		1 475,58
T	E-37		1 476,41		0,48	1 475,93
U	E-37	2,57	1 478,50			
U	E-38		1 478,50	1,04		1 477,46
U	E-39		1 478,50		0,55	1 477,95
V	E-39	2,46	1 480,41			
V	E-40		1 480,41	0,85		1 479,56

Continuación de la tabla VIII.

V	E-41		1 480,41		0,35	1 480,06
W	E-41	2,17	1 482,23			
W	E-42		1 482,23		0,59	1 481,64
X	E-42	2,01	1 483,65			
X	E-43		1 483,65	0,85		1 482,80
X	E-44		1 483,65	0,71		1 482,94
X	E-45		1 483,65		0,50	1 483,15
Y	E-45	1,77	1 484,92			
Y	E-46		1 484,92	0,98		1 483,94
Y	E-47		1 484,92	0,64		1 484,28
Y	E-48		1 484,92		0,37	1 484,55
Z	E-48	1,34	1 485,89			
Z	E-49		1 485,89	1,18		1 484,71
Z	E-50		1 485,89	0,77		1 485,12
Z	E-51		1 485,89		0,42	1 485,47
AA	E-51	1,87	1 487,34			
AA	E-52		1 487,34	1,11		1 486,23
AA	E-53		1 487,34		0,89	1 486,45
BB	E-53	2,34	1 488,79			
BB	E-54		1 488,79	0,88		1 487,91
BB	E-55		1 488,79		0,83	1 487,96
CC	E-55	1,81	1 489,76			
CC	E-56		1 489,76	1,02		1 488,74
CC	E-57		1 489,76	0,98		1 488,78
CC	BM-2		1 489,76		1,21	1 488,55

Fuente: elaboración propia.

El procedimiento para el análisis de datos se desarrolló en el capítulo 3, por cuestiones didácticas se brindará una explicación breve en esta sección ya con los datos reales de nuestra medición de campo; para ello se utilizarán los datos de la estación A y B, así como sus respectivos puntos observados, al

finalizar con la demostración se realizará el respectivo chequeo de la libreta realizada en campo.

La primera observación se hace sobre el punto de cota conocida, sino se cuenta con este dato entonces se asume; para este caso la cota brindada por el IGN fue la siguiente.

$$COTA_{BM-1} = 1\,491,74 \text{ msnm}$$

Ahora se necesita determinar la altura de nuestro instrumento en la estación A, para luego determinar las cotas de los puntos observados subsiguientes.

$$\begin{array}{ll} HI_A = VA + COTA_{BM-1} & HI_A = 1,17 + 1\,491,74 = 1\,492,91 \\ COTA_{E-1} = HI_A - VI & COTA_{E-1} = 1\,492,91 - 1,51 = 1\,491,40 \\ COTA_{E-2} = HI_A - PV & COTA_{E-2} = 1\,492,91 - 2,25 = 1\,490,66 \end{array}$$

Ya que hubo un cambio de estación, ahora se determina la altura del instrumento en la estación B, y luego se repite la misma operación anterior.

$$\begin{array}{ll} HI_B = VA + COTA_{E-2} & HI_B = 0,76 + 1\,490,66 = 1\,491,42 \\ COTA_{E-3} = HI_B - VI & COTA_{E-3} = 1\,491,42 - 2,49 = 1\,488,93 \\ COTA_{E-4} = HI_B - PV & COTA_{E-4} = 1\,491,42 - 3,27 = 1\,488,15 \end{array}$$

Este proceso se debe realizar con todas las estaciones de la libreta y por último se debe realizar el chequeo.

$$\begin{aligned} \left| \sum VA - \sum PV \right| &= |COTA_{INICIAL} - COTA_{FINAL}| \\ |38,88 - 42,07| &= |1\,491,74 - 1\,488,55| \end{aligned}$$

$$3,19 = 3,19$$

Por lo tanto, todas las operaciones de la libreta son correctas.

Es imprescindible mencionar que el procedimiento anterior solo determina si los cálculos realizados en la libreta son correctos; sin embargo, para determinar si la nivelación se realizó de manera correcta y cumple con los estándares mínimos en cuanto a precisión, es necesario realizar otro chequeo para determinar si el error en la nivelación es aceptable. Ya que esta medición es un levantamiento de tercer orden se realizarán los chequeos correspondientes a una medición con estas características.

$$E_p = 1,2 * \sqrt{K}$$

Donde:

- E_p = error permisible está dado en centímetros
- K = distancia nivelada en kilómetros

El dato que se necesita solo es la distancia nivelada, esta se puede encontrar en la tabla de resultados del capítulo 6, subtítulo 6.3.

$$E_p = 1,2 * \sqrt{2,984 Km}$$

$$E_p = 2,07 cm$$

5.3. Levantamiento mediante GPS

La medición utilizando el GPS se realizó tomando en cuenta los principios explicados en el capítulo 4, el equipo también fue brindado por el Departamento

de Topografía y Transportes de la Usac, así como también el Área de Topografía y Catastro ubicada en el Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería. Entre los instrumentos más importantes están:

- Receptor de mono-frecuencia GPS, marca Promark 2 (especificaciones en los anexos 5 y 6)
- Antena de receptor GPS externa, marca Promark 2
- Bastones porta antena
- Bi-podes
- Cinta métrica de metal

5.3.1. Datos obtenidos

Para el levantamiento con receptor diferencial GPS, se utilizó el mismo recorrido que con los métodos anteriores, con la diferencia que solo se utilizaron los puntos más representativos de toda la medición; en un principio se había establecido que se utilizarían nada más el punto inicial y final, pero se cambió de criterio ya que algunos puntos del recorrido también son de vital importancia para la comparación; de igual manera, tampoco, se midieron todos los puntos de los recorridos anteriores ya que el tiempo de medición hubiese sido abrumador a causa del nivel de exactitud requerido para el levantamiento.

El método utilizado para el levantamiento con GPS fue el método estático relativo, para el cual son necesarios dos receptores GPS: el receptor fijo el cual debe ser nivelado y centrado en un punto con coordenadas conocidas y el receptor móvil el cual hace el recorrido durante toda la fase de medición. Para este caso el receptor fijo se quedó en un banco de marca ubicado frente al Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII); los datos de dicho banco de marca fueron brindados por el Departamento de Topografía y Catastro de la

misma área. El receptor móvil hizo el recorrido desde el banco de marca 1 (BM1) hasta el punto final denominado banco de marca 2 (BM2); el tiempo promedio para tomar los datos de cada estación fue de 20 minutos, sin incluir el tiempo de recorrido entre una estación y otra, que es alrededor de 5 a 10 minutos más.

Así mismo, se utilizaron los datos de una tercera estación ubicada en el Instituto Geográfico Nacional (IGN), el cual opera las 24 horas al día durante todo el año. Dicha estación es necesaria para afinar los datos y brindarle la exactitud necesaria al levantamiento y así realizar la respectiva triangulación en el post proceso. Los datos obtenidos en la medición son patrones crudos, los cuales no se pueden mostrar mediante tablas ya que solo es posible observarlos en los receptores GPS.

5.3.2. Procesamiento de datos

Como ya se había mencionado anteriormente, los datos obtenidos son simples códigos y patrones a los cuales no se les puede brindar ninguna interpretación. Para realizar un post proceso adecuado se debe contar con la ayuda de software adicional, el cual es brindado por la entidad que vende los instrumentos y receptores GPS; en este caso, se utilizó el programa Ashtech Solutions 2.50 que viene por defecto con los receptores GPS Promark 2.

Luego de tener el respectivo programa instalado en una computadora, se deben conectar los receptores GPS utilizados en la medición a la computadora y realizar el respectivo traslado de datos; para realizar el post proceso se utilizó el programa antes mencionado con lo cual se obtuvieron los datos de los puntos medidos. El programa ofrece la posibilidad de obtener la información del sitio en sistema de coordenadas planas (norte, este, altitud), también, coordenadas

geográficas (latitud, longitud, distancia radial). En la tabla IX se pueden observar los datos post procesados del levantamiento realizado, por facilidades de interpretación los datos se brindan en el sistema de coordenadas planas, Universal Transversal de Mercator (UTM).

Tabla IX. Procesamiento de datos levantamiento con GPS

Número	Estación	Este (m)	Norte (m)	Hlt. Ortométrica (m)
1	BM-1	764 484,147	1 614 200,610	1 492,358
2	E-4	764 286,668	1 614 246,906	1 488,714
3	E-6	764 132,358	1 614 214,055	1 486,542
4	E-10	764 071,389	1 613 904,903	1 483,694
5	E-12	763 797,624	1 613 937,724	1 482,827
6	E-17	763 754,984	1 613 698,453	1 479,866
7	E-19	763 616,873	1 613 669,310	1 476,327
8	E-21	763 543,032	1 613 595,748	1 474,688
9	E-25	763 453,215	1 613 481,033	1 473,900
10	E-28	763 322,743	1 613 488,907	1 471,889
11	E-30	763 242,587	1 613 600,288	1 471,288
12	E-33	763 265,053	1 613 769,697	1 474,292
13	E-36	763 343,947	1 613 847,170	1 475,983
14	E-39	763 417,032	1 613 900,038	1 478,315
15	E-42	763 464,918	1 614 020,509	1 482,001
16	E-45	763 493,537	1 614 124,513	1 483,534
17	E-48	763 521,147	1 614 226,077	1 484,906
18	E-51	763 563,956	1 614 295,205	1 485,820
19	E-54	763 688,521	1 614 306,054	1 488,233
20	BM-2	763 732,916	1 614 213,083	1 489,168

Fuente: elaboración propia.

Es de vital importancia conocer que para el sistema de coordenada planas UTM, la tierra es una gran esfera que se divide en 60 zonas de 6° cada una; estas divisiones son paralelas al meridiano de Greenwich y es válida para una

latitud norte o sur máxima de 80°; Guatemala se encuentra en la zona 15 norte, estos datos son necesarios para realizar un post proceso correcto; el tiempo promedio que toma el post proceso de los datos es aproximadamente de 20 minutos por cada toma de medición ininterrumpida hecha en campo.

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS COMPARATIVO

6.1. Comparación entre los levantamientos topográficos con nivel, estación total y GPS

En este apartado se elabora el correspondiente análisis comparativo de las mediciones realizadas mediante los tres métodos; se hace especial énfasis en aspectos de precisión, exactitud y rendimiento de la medición de campo como tal; así mismo, se explican las ventajas y desventajas de utilizar un método u otro y la aplicabilidad que puedan tener en el campo de la ingeniería. En la tabla X se pueden apreciar las cotas brindadas por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), dichos documentos pueden visualizarse en los anexos 7 y 8.

Tabla X. Datos de los bancos de marca utilizados

Datos del Instituto Geográfico Nacional (IGN)		
BM-1	Nombre	Santa Elisa
	Ubicación	Acera calle Real de Petapa
	Elevación (msnmm)	1 491,7443
	Latitud	14° 35' 17.23" N
	Longitud	90° 32' 42.61" W
BM-2	Nombre	Rectoría USAC
	Ubicación	Al oeste del edificio de Rectoría
	Elevación (msnmm)	1 488,5692
	Latitud	0°0'0"
	Longitud	0°0'0"

Fuente: elaboración propia.

6.1.1. Tiempos de trabajo

- Estación total: la medición de campo con estación total se efectuó con una cantidad de 22 estaciones y un total de 75 puntos observados. Para realizar la medición se necesitaron 4 días de trabajo con un tiempo de medición efectivo de 14 horas con 4 minutos. El tiempo requerido para el post proceso de los datos fue de aproximadamente 15 minutos, lo que conlleva la obtención de la libreta en Excel y el croquis en Autocad de los puntos medidos.
- Nivelación diferencial: la realización del levantamiento altimétrico con nivelación diferencial se efectuó con un total de 27 estaciones y 59 puntos observados. Se necesitaron de 3 días de trabajo con un tiempo de 10 horas con 5 minutos de medición efectiva. El post proceso como se mencionó anteriormente se realizó en 30 minutos, con lo que se tabularon los datos tomados en campo y se determinaron las respectivas cotas de los puntos observado.
- Sistema de posicionamiento global (GPS): el levantamiento con sistema de posicionamiento global se llevó a cabo en 4 días con un tiempo de trabajo efectivo de 9 horas con 6 minutos, para ello se necesitaron de dos puntos de control (estaciones base) y 20 puntos observado (estaciones móviles). El tiempo para realizar el post proceso de los 4 archivos obtenidos se realizó en 1 hora con 20 minutos, con lo cual se obtuvieron las coordenadas planas UTM de los puntos observados.

Analizando los resultados respecto a los tiempos de trabajo efectivos en campo, se ve que el método que tomó mayor tiempo de medición fue el levantamiento con estación total; mientras que con el método de nivelación

diferencial se obtuvo una reducción en el tiempo de 30,55 %; no obstante, se debe tomar en cuenta que con un levantamiento de nivelación diferencial no se obtiene la planimetría del terreno medido, lo que conlleva a usar otro aparato de medición planimétrica, por ejemplo, un teodolito, lo que aumentaría significativamente los tiempos de trabajo en campo utilizando este método.

Así mismo, con el método de GPS se redujo el tiempo en un 37,24 % respecto de la estación total y una reducción de 9,63 % con relación a la nivelación diferencial; sin embargo, con el sistema de posicionamiento global solo se observaron 20 puntos ya que no se hacía necesario realizar todo el recorrido para conocer las diferencias de nivel entre el punto inicial y el final. Lo que quiere decir que si se hubieran medido los 59 puntos de todo el recorrido el tiempo efectivo de trabajo con GPS sería de 29 horas y 30 minutos lo cual es excesivo para un levantamiento de un perfil topográfico.

Respecto a los tiempos de trabajo necesarios para la realización del post proceso se observa que el método con mayor tiempo de trabajo de gabinete es el GPS, mientras que con un post proceso de nivelación diferencial se obtuvo una reducción de tiempo de 62,5 %; no obstante, se vuelve a hacer énfasis en que la nivelación diferencial no brinda datos planimétricos como el sistema de posicionamiento global. Así mismo, el trabajo de gabinete para un levantamiento con estación total obtuvo una reducción de 81,25 % respecto del tiempo con GPS y una reducción de 50,0 % con relación al post proceso de la nivelación diferencial.

6.1.2. Mediciones

6.1.2.1. Distancias

Para el análisis comparativo de distancias se analizan los resultados brindados por la estación total y el sistema de posicionamiento global (GPS), asimismo se toma en cuenta el alcance, la precisión y los factores influyentes en el momento de la medición.

- Estación total: los 75 puntos observados se posicionaron a una distancia que va desde los 20,0 m hasta los 200,0 m uno de otro; el alcance del EDM de la estación total utilizada no se comprobó de manera experimental; ya que con el prisma estándar empleado según la teoría se podían alcanzar distancias de hasta 3 000,0 m. lo cual no fue necesario para nuestro levantamiento. Respecto a la precisión del método se midió con el error relativo porcentual el cual fue de 0,0006 %.
- Nivelación diferencial: la observación de los 59 puntos se realizó desde una distancia que va desde los 20,0 m hasta los 80,0 m de longitud; en las especificaciones del instrumento no brinda indicaciones del alcance del telescopio, pero según lo experimentado en campo no se recomienda realizar observaciones a más de 100,0 m de distancia.
- Sistema de posicionamiento global: con este instrumento se registraron 20 puntos pertenecientes al perfil, el alcance depende del tiempo que se le dedica a la estación que se está midiendo; experimentalmente se realizaron observaciones que alcanzaron los 900,0 m de distancia entre la estación base y la estación móvil; sin embargo, teóricamente el instrumento puede captar señales hasta los 10 km de distancia entre un punto y el otro.

Respecto a la precisión del método, se determinó que el error relativo porcentual con relación a la distancia patrón determinada con cinta métrica fue de 0,05 %.

6.1.2.2. Polígonos

Ya que el estudio principal del siguiente análisis comparativo es respecto a la exactitud y precisión altimétrica de los métodos de nivelación diferencial, estación total y el sistema de posicionamiento global, no corresponde realizar un estudio de errores de cierre de polígonos desde el punto de vista planimétrico; sin embargo, desde una perspectiva altimétrica (tema principal del estudio) se realiza un equivalente con los datos brindados por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) y se analizan los errores en el siguiente apartado.

6.1.2.3. Nivelación

Se realizó el levantamiento del mismo perfil topográfico por medio de los tres métodos respectivos, el punto de partida corresponde a un banco de marca denominado Santa Elisa (BM-1) ubicado sobre la avenida Petapa frente a un gimnasio (ver anexo 7). Los datos altimétricos y planimétricos de dicho banco de marca fueron brindados por el IGN, y fueron estos datos los que se introdujeron en los aparatos desde un inicio; para luego realizar el recorrido a todo el perfil y llegar a otro banco de marca denominado Rectoría (BM-2), ya que se encuentra al costado derecho del edificio en cuestión (ver anexo 8).

Así mismo, el Instituto Geográfico Nacional brindó los datos altimétricos de dicho banco de marca; esto con el objeto de comparar los datos obtenidos con los tres aparatos (nivel, estación y GPS), analizar y comparar las diferencias

altimétricas entre estas con el dato de referencia para determinar cuál de los tres métodos es el más exacto.

- Estación total: para todas las observaciones realizadas se obtuvo un promedio en la altura del aparato de aproximadamente 1,00 m hasta los 1,50 m. Así mismo, la altura del prisma se mantuvo en un intervalo de 1,50 m hasta los 2,50 m. dependiendo de las situaciones geográficas y obstáculos encontrados en el sitio de la medición. Con relación a la precisión del levantamiento con este método se obtuvo un error absoluto de + 0,007 m y el error relativo porcentual fue de + 0,0005 %, el signo más significa que el dato obtenido con el instrumento estuvo arriba del dato real.
- Nivel diferencial: los puntos observados con el nivel de precisión se hicieron con una altura de estadal de aproximadamente 0,25 m hasta los 3,00 m, no es recomendable hacer observaciones a una altura mayor de los 3,25 m ya que el aire tiene incidencia significativa sobre el estadal. Respecto a la precisión del método, se determinó un error absoluto de – 0,02 m y el error relativo porcentual fue de – 0,001 %; donde el signo menos significa que el dato registrado con el instrumento se encuentra por debajo del dato real.
- Sistema de posicionamiento global: la altura de la estación móvil y la estación base en el momento de la medición estuvo en un rango de 1,60 m hasta los 2,00 m. Con relación a la precisión el levantamiento realizado con GPS presento un erro absoluto de + 0,599 m y el error relativo porcentual fue de + 0,004 %.

Analizando los datos obtenidos, se puede apreciar que el método más exacto fue el levantamiento realizado con estación total ya que solo se ubicó 7,0 mm por encima del dato real (denominado BM-2 brindado por el IGN). El

segundo método que brindó datos más certeros fue la medición con nivel de precisión, ya que el dato brindado por el instrumento se situó a 2,0 cm por debajo de la cota real. El sistema de posicionamiento global por el contrario presentó diferencias significativas en los niveles determinados, tanto así que el dato registrado por el aparato se posicionó 0,599 m por encima del dato real.

Esta diferencia significativa se debe a que la tecnología GPS utiliza el tiempo recorrido por las señales emitidas por la red de satélites de cierta área para determinar la posición del receptor; es decir, dichas señales dependen mucho del estado del clima, de si el área donde se realiza la medición se encuentra despejada, si dicha señal no sufre alteraciones debido a múltiples trayectorias por construcciones cercanas o bien por otras señales que se emiten en el área; como último punto se tiene la antigüedad de los aparatos utilizados, en comparación con los instrumentos GPS actuales que presentan precisiones mayores para realizar levantamientos.

Respecto a los errores presentados en la medición, se puede mencionar que los levantamientos con estación total y el método de nivelación diferencial cumplen con la precisión necesaria para un levantamiento de tercer orden, según la comprobación realizada en el capítulo 5 subtítulo 5.2.2, ya que los datos brindados por los instrumento quedan por debajo de los 2,07 cm permisibles que dicta la comprobación. Mientras que para la medición realizada con sistema de posicionamiento global (GPS) se observa que no cumple con la precisión necesaria para un levantamiento de tercer orden, ya que el error absoluto sobrepasa el límite establecido para un levantamiento de tercer orden, esto debido a las razones dictaminadas en el párrafo anterior.

6.2. Ventajas y desventajas

- **Estación total**

Entre las ventajas de realizar un levantamiento con estación total se puede mencionar que no es necesario tomar medidas horizontales, ya que el instrumento emplea un sistema de medición electrónico (EDM). Así mismo, no se requiere tomar datos manualmente, ya que el microprocesador almacena todos los datos de las observaciones realizadas. Entre otras ventajas se tiene que se pueden medir grandes distancias y desniveles, ya que el telescopio tiene movimiento horizontal y vertical; asimismo, se logra mayor precisión porque incurre en menor grado a los errores sistemáticos y el post proceso es muy sencillo de realizar. Gracias a todo lo anterior se reduce significativamente el tiempo de trabajo empleado para un levantamiento.

Entre sus desventajas se tiene que es necesario tomar la altura del instrumento en cada estación realizada, así como también registrar la altura del bastón en cada observación realizada. Con relación al precio de una estación total se puede decir que son muy elevados con relación a instrumentos tradicionales.

- **Nivelación diferencial**

Una de las ventajas de realizar un levantamiento con nivel de precisión es que el instrumento se puede estacionar en cualquier punto, no necesariamente este punto debe pertenecer a la medición en sí; asimismo, la nivelación del instrumento es muy rápida y sencilla. Con relación a los precios se puede mencionar que es un instrumento muy económico si se compara con una estación total o GPS.

Son diversas las desventajas que presenta un levantamiento con este aparato, entre estas está que es muy complicado medir terrenos con pendiente muy pronunciada ya que el telescopio no tiene movimiento vertical; además, no se pueden realizar observaciones a grandes distancias ya que se pierde visibilidad en el estado. Otro punto en contra es que todas las observaciones deben estar a una distancia muy similar para que no haya demasiada incidencia por la refracción atmosférica.

- **GPS**

Entre las ventajas de utilizar uno a varios receptores GPS para un levantamiento se puede referir a que se pueden medir grandes distancias, ya que no es necesario que se tenga visibilidad de una estación a otra, en comparación con la estación y el nivel. Así mismo, la manipulación y nivelación del instrumento es fácil y sencilla de realizar.

Las desventajas de utilizar este instrumento son diversas: depende mucho de las cuestiones climáticas, ya que el simple hecho de que hayan demasiadas nubes aumenta significativamente el tiempo de la medición, aproximadamente 10 a 15 minutos por cada estación realizada. Asimismo, se debe estar lejos de obstáculos como árboles o edificios ya que existe el riesgo de datos erróneos por la reflexión de las señales satelitales; por último, el precio de un GPS sobrepasa por mucho a los instrumentos tradicionales.

6.3. Resultados

Se resumen los datos obtenidos de las mediciones y del análisis comparativo en la tabla XI. Las comparaciones se dividen en tres aspectos importantes como el tiempo, distancia y nivelación.

Tabla XI. **Resultados obtenidos**

	Estación total	Nivelación diferencial	GPS
Tiempo			
Campo (h:min)	14:04	10:05	9:06
Gabinete (h:min)	0:15	0:30	1:20
Distancia			
Recorrido (m)	2 983,655	2 983,655	2 877,297
Alcance instrumento (m)	1,5 - 3 000,0	1,0 - 100,0	1,0 - 15 000,0
Puntos observados (unidad)	75	59	20
Error porcentual (%)	0,0006	-----	0,05
Nivelación			
BM-1 (msnmm)	1 491,744	1 491,74	1 492,358
BM-2 (msnmm)	1 488,576	1 488,55	1 489,168
Error absoluto (m)	+ 0,007	- 0,02	+ 0, 599
Error porcentual (%)	0, 0005	0, 001	0, 004
Error permisible (m)	± 0,0207		-----

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. Se realizó el análisis comparativo de los datos altimétricos obtenidos mediante levantamientos realizados con estación total, nivelación diferencial y sistema de posicionamiento global; la confrontación de los datos se realizó en cuanto a precisión en la nivelación, tiempos de trabajo, en campo y en gabinete y su respectiva aplicación en proyectos de ingeniería.
2. Se desarrolló el método de nivelación diferencial y se determinó que la elevación del BM-2 (Rectoría) es de 1 488,55 msnmm. La elevación brindada por el instrumento posee un error absoluto de $-0,02$ m comparado con el dato real, lo cual es aceptable respecto al error permisible. Se determinó que el factor más influyente en este tipo de levantamientos es la topografía del terreno, ya que con pendientes muy pronunciadas el método no es viable por la cantidad de estaciones que se deben hacer.
3. Se analizó la medición realizada con estación total y se localizó el BM-2 con una elevación de 1 488,576 msnmm; así mismo, el error absoluto comparado con el dato real fue de $+0,007$ m. Según el chequeo de nivelación el error absoluto se encuentra dentro del rango de error permisible. No se determinaron factores que incidieran de manera significativa en la medición de campo, más que las vibraciones que se produzcan en el terreno por automóviles o maquinaria pesada.

4. Se efectuó el levantamiento realizado con sistema de posicionamiento global (GPS) y se determinó que la elevación del BM-2 fue de 1 489,168 m. El error absoluto para la medición realizada con este instrumento fue de + 0,599 m comparado con el dato real, por lo que excede del valor del error permisible en el chequeo de nivelación. Sin embargo, esto se debe a que se utilizó un método estático absoluto ya que solo se contaba con dos receptores GPS; mientras que un método estático relativo hubiese dado precisiones al milímetro, pero hubiesen sido necesarios tres receptores, además los datos obtenidos por un GPS sufren demasiadas alteraciones debido a la atmosfera, trayectorias múltiples por construcciones y otras señales que se emiten en el área, también, la antigüedad del receptor GPS utilizado. Los factores climáticos son los que tienen mayor incidencia en los levantamientos con el sistema de posicionamiento global.
5. Comparando los datos obtenidos mediante los tres métodos se concluye que el método más preciso es el levantamiento realizado con estación total, ya que arrojó los valores más cercanos al dato real; además es el más conveniente en cuanto a grandes pendientes y distancias. El segundo instrumento con datos altimétricos más preciso fue el nivel de precisión, teniendo como ventaja que las estaciones se pueden colocar en cualquier sitio que sea conveniente para los puntos observados. El levantamiento menos preciso fue el que se realizó mediante el sistema de posicionamiento global. Uno de los aspectos importantes que se debe resaltar es que el GPS se puede colocar en cualquier sitio y no necesita de visibilidad entre una y otra estación como con los instrumentos de estación total y nivel de precisión.
6. Analizando los tiempos de trabajo que fueron necesarios para cada medición respecto al trabajo de gabinete se tiene que: el método que ofrece

mayor facilidad para la obtención de resultados es el levantamiento con estación total, esto debido a que la toma de datos es electrónica desde el momento en que inicia la medición; el segundo método más rápido es la nivelación diferencial, tiene como ventaja que se pueden ir calculando las cotas directamente en campo; por último, está la medición por medio de GPS la cual conllevó un mayor tiempo de trabajo en cuanto a post proceso, esto debido a los programas que se deben utilizar para transformar los datos crudos. Sin embargo, comparando los tiempos totales de trabajo de campo y de gabinete, el equipo más rápido para determinar elevaciones es el nivel de precisión, seguido de la estación total, en último puesto, el receptor GPS.

RECOMENDACIONES

1. En las mediciones con nivel de precisión se debe revisar y ajustar la paralaje antes de comenzar la medición. Esto se realiza enfocando cuidadosamente la lente del ocular y del objetivo para que los hilos de la retícula se aprecien de manera nítida y no afecten en las observaciones posteriores.
2. No se deben realizar observaciones a más de 100,0 m de distancia con un nivel de precisión; además, se sugiere extender lo menos posible el estadal ya que el aire tiene incidencia significativa sobre éste y como último punto utilizar un nivel ojo de buey para estadal es muy útil para toda medición.
3. Si se utiliza una estación total no debe olvidarse introducir las alturas del aparato y del prisma en cada estación y observación realizada.
4. Para realizar un levantamiento con GPS se deben consultar las predicciones del clima para los días planificados, ya que las nubes espesas en el cielo aumentan considerablemente el tiempo de la medición.
5. Así mismo, se deben realizar revisiones periódicas a los instrumentos nivelados ya que con el aire del medio ambiente, vibraciones externas o por el mismo movimiento del observador en la estación, los trípodes de los instrumentos tienden a moverse y desnivelarse.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALCÁNTARA, Dante. *Apuntes de topografía*. 2ª. ed. México D.F.: Universidad Autónoma Metropolitana, 1999. 190 p.
2. ANDERSON, James; MIKHAIL, Edward. *Introducción a la topografía*. 3ª. ed. México D.F.: McGraw-Hill, 1988. 759 p.
3. ATIENZA, Jaime. *Servicios de posicionamiento disponibles de GPS*. [En línea]. http://www.oocities.org/es/foro_gps/infografia/gps7.htm [Consulta: 14 de agosto de 2016].
4. BUSTOS, Guillermo. *La estación total*. [En línea]. <https://civilgeeks.com/2017/09/05/la-estacion-total-topografia-ii-ing-guillermo-n-bustos/> [Consulta: 16 de julio de 2016].
5. CASANOVA, Leonardo. *Topografía Plana*. [En línea]. http://www.serbi.ula.ve/serbiula/libros-electronicos/Libros/topografia_plana/pdf/topografia.pdf [Consulta: 18 de agosto de 2016].
6. *Cómo funciona el sistema de posicionamiento GPS*. [En línea]. <https://www.aristasur.com/contenido/como-funciona-el-sistema-de-posicionamiento-gps> [Consulta: 14 de agosto de 2016].

7. *Cómo funciona el sistema GPS, en cinco pasos lógicos.* [En línea].
<http://www.elgps.com/documentos/comofuncionagps/comofuncionagps.html> [Consulta: 24 de agosto de 2016].
8. CORNEJO DEL VALLE, Marco. *Conocimiento y manejo de una estación total electrónica.* Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1996. 143 p.
9. CORREIA, Paul. *Guía práctica del GPS.* Barcelona, España: Marcombo S.A., 2002. 186 p.
10. *Curso de AutoCad Civil 3D aplicado a Geología y Topografía.* [En línea].
<https://ingeoexpert.com/cursos/curso-de-autocad-civil-3d-aplicado-a-geologia-y-topografia/> [Consulta: 11 de julio de 2016].
11. DESMOND, Lee. *What is GPS.* [En línea].
<https://www8.garmin.com/aboutGPS/> [Consulta: 4 de agosto de 2016].
12. *El receptor GPS.* [En línea].
<http://www.mecinca.net/Presentaciones/EL%20RECEPTOR%20GPS.htm> [Consulta: 17 de agosto de 2016].
13. Espacio Marketing.com. *Introducción al nivel de topografía.* [En línea].
<http://www.demaquinasyherramientas.com/herramientas-de-medicion/nivel-de-topografia> [Consulta: 12 de mayo de 2016].

14. FALLAS, Jorge. *Sistema de posicionamiento global*. [En línea]. https://www.researchgate.net/profile/Jorge_Fallas5/publication/228389461_SISTEMA_DE_POSICIONAMIENTO_GLOBAL/links/55a529f008ae81aec9133e7e/SISTEMA-DE-POSICIONAMIENTO-GLOBAL.pdf [Consulta: 28 de agosto de 2016].
15. FARJAS, M. *Aplicaciones Topográficas del GPS*. [En línea]. http://ocw.upm.es/ingenieria-cartografica-geodesica-y-fotogrametria/topografia-ii/Teoria_GPS_Tema_12.pdf [Consulta: 3 de agosto de 2016].
16. GARRIDO, Natalia. *Posicionamiento GNSS absoluto y relativo*. [En línea]. <https://nagarvil.webs.upv.es/posicionamiento-gnss-absoluto-relativo/> [Consulta: 29 de agosto de 2016].
17. *Guía del usuario estación total Trimble M3*. [En línea]. <https://www.latitud-19.com/descargas/TrimbleM3.pdf> [Consulta: 23 de junio de 2016].
18. *Guía para mediciones en modo estático y estático rápido*. [En línea]. http://www.utdallas.edu/~aiken/LEICA/Documentation/Spanish/Static-Rapid_3_0es.pdf [Consulta: 29 de agosto de 2016].
19. HERNANDEZ, Leopoldo. *Manual de operación de la estación total*. [En línea]. http://www.abreco.com.mx/manuales_topografia/teodolitos_estaciones/Manual%20de%20Operacion%20de%20Estacion%20Total.pdf [Consulta: 29 de junio de 2016].

20. JIMÉNEZ, Andrés. *Sistema GPS y protocolo NTP*. [En línea]. <https://es.scribd.com/document/157060096/GPS-y-NTP-Andres-Jimenez-Sevilla> [Consulta: 25 de agosto de 2016].
21. MANSILLA González, Jorge. *Comparación entre la precisión de la nivelación diferencial y la nivelación trigonométrica*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad Mariano Gálvez, Facultad de Ingeniería, 2007. 74 p.
22. MAO, Junyu; NINDL, Daniel. *Prismas topográficos – white paper características e influencias*. [En línea]. http://accessories.leica-geosystems.com/downloads123/zz/accessory/accessories/white-tech-paper/White%20Paper%20Surveying%20Reflectors_es.pdf [Consulta: 4 de julio de 2016].
23. MARQUEZ, Luis. *Diferentes tipos de levantamientos y aplicaciones GPS*. [En línea]. <https://es.scribd.com/doc/112761719/Metodos-Levantamiento-Con-GPS> [Consulta: 30 de agosto de 2016].
24. MARTINI, Axel; BIANCHINI, Agustín; BRAGACHINI, Mario. *Sistemas de posicionamiento*. [En línea]. <http://www.agriculturadeprecision.org/descargaltem.asp?item=%2Farticulos%2Fsistema%2Dgps%2FSistemas%2DPosicionamiento%2Epdf> [Consulta: 25 de agosto de 2016].
25. MCCORMAC, Jack. *Topografía*. México D.F.: Limusa Wiley, 2004. 434 p.

26. Mejora de los sistemas de cartografía del territorio colombiano. [En línea].
ftp://gisweb.ciat.cgiar.org/DAPA/planificacion/GEOMATICA/GPS/GPS_Modulo.pdf [Consulta: 18 de agosto de 2016].
27. MENDEZ MONROY, Eleazar Neftaly. *Análisis comparativo de levantamientos por método taquimétrico y levantamiento empleando estación total*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de ingeniería, 2014. 157 p.
28. MONTES DE OCA, Miguel. *Topografía*. 4^a. ed. México D.F.: Alfaomega, 1989. 344 p.
29. PÉREZ, Julio. *Sistemas de posicionamiento global*. [En línea].
<http://www.centronaval.org.ar/boletin/BCN835/835-PEREZ.pdf>
[Consulta: 29 de agosto de 2016].
30. SALAZAR MARROQUÍN, Sergio. *Guía práctica para el uso del receptor GPS de monofrecuencia L1*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2009. 138 p.
31. SANTAMARÍA, Jacinto; SANZ, Teófilo. *Manual de prácticas de topografía y cartografía*. [En línea].
<https://publicaciones.unirioja.es/catalogo/online/topografia.pdf>
[Consulta: 12 de julio de 2016].

32. *Sistema de posicionamiento global GPS.* [En línea].
<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geodesia/gps.aspx?dv=c1>
[Consulta: 11 de agosto de 2016].
33. *Sokkia link user's guide.* [En línea].
http://www.kollnerlabrana.cl/PDF/787_sokkia_manualsokkialink.pdf
[Consulta: 11 de julio de 2016].
34. *Técnicas de medición GPS en topografía I.* [En línea].
<http://detopografia.blogspot.com/2013/03/tecnicas-de-medicion-gps-en-topografia-i.html> [Consulta: 29 de agosto de 2016].
35. *Técnicas de medición GPS en topografía II.* [En línea].
<http://detopografia.blogspot.com/2013/03/tecnicas-de-medicion-gps-en-topografia.html> [Consulta: 30 de agosto de 2016].
36. TORRES, Alvaro; VILLATE, Eduardo. *Topografía.* 4^a. ed. Colombia: Prentice-Hall, 2001. 472 p.
37. VARELA, Carlos. *Sistemas de posicionamiento y de navegación satelital.* [En línea].
http://m.uelbosque.edu.co/sites/default/files/publicaciones/revistas/revista_tecnologia/volumen2_numero2/sistemas_posicionamiento_2-2.pdf [Consulta: 28 de agosto de 2016].
38. WOLF, Paul; GHILANI, Charles. *Topografía.* 11^a. ed. México D.F.: Alfaomega, 2009. 952 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Planos pertenecientes a las mediciones realizadas

- Plano del levantamiento con estación total
- Plano del levantamiento con nivel de precisión
- Plano del levantamiento con sistema de posicionamiento global (GPS)

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



TABLA DE PUNTOS				
Punto No. #	Descripción	Elevación	Norte	Este
1	BM-1	1491.74	1614200.61	764484.15
2	E-1	1491.40	1614228.80	764442.59
3	E-2	1490.62	1614233.25	764369.96
4	E-3	1488.92	1614245.14	764312.87
5	E-4	1488.14	1614248.62	764287.10
6	E-5	1486.19	1614260.15	764215.31
7	E-6	1485.90	1614217.10	764132.53
8	E-7	1485.57	1614172.72	764129.13
9	E-8	1485.27	1614115.11	764121.51
10	E-9	1484.44	1614023.18	764111.39
11	E-10	1483.14	1613908.58	764068.88
12	E-11	1483.15	1613933.96	763909.13
13	E-12	1482.31	1613943.82	763795.51
14	E-13	1481.21	1613865.84	763769.14
15	E-14	1481.07	1613840.69	763766.05
16	E-15	1481.05	1613814.06	763762.40
17	E-16	1480.38	1613751.63	763753.76
18	E-17	1479.39	1613705.00	763750.78
19	E-18	1477.43	1613674.98	763679.29
20	E-19	1475.95	1613677.12	763612.45

TABLA DE PUNTOS				
Punto No. #	Descripción	Elevación	Norte	Este
21	E-20	1474.41	1613619.98	763553.95
22	E-21	1474.25	1613598.10	763537.99
23	E-22	1474.11	1613576.24	763522.09
24	E-23	1473.80	1613530.57	763487.57
25	E-24	1473.68	1613508.19	763470.86
26	E-25	1473.60	1613484.37	763447.31
27	E-26	1472.90	1613493.38	763376.68
28	E-27	1472.34	1613497.26	763348.38
29	E-28	1471.36	1613493.39	763317.22
30	E-29	1469.92	1613530.94	763230.12
31	E-30	1470.90	1613605.15	763237.36
32	E-31	1472.44	1613687.99	763248.80
33	E-32	1472.86	1613709.58	763251.64
34	E-33	1473.86	1613774.52	763261.74
35	E-34	1474.30	1613798.84	763274.44
36	E-35	1475.16	1613846.89	763318.01
37	E-36	1475.58	1613857.38	763341.34
38	E-37	1475.93	1613860.36	763362.03
39	E-38	1477.48	1613897.05	763404.78
40	E-39	1477.96	1613909.54	763414.93

PLANTA DE LEVANTAMIENTO CON ESTACION TOTAL

ESCALA 1:3500

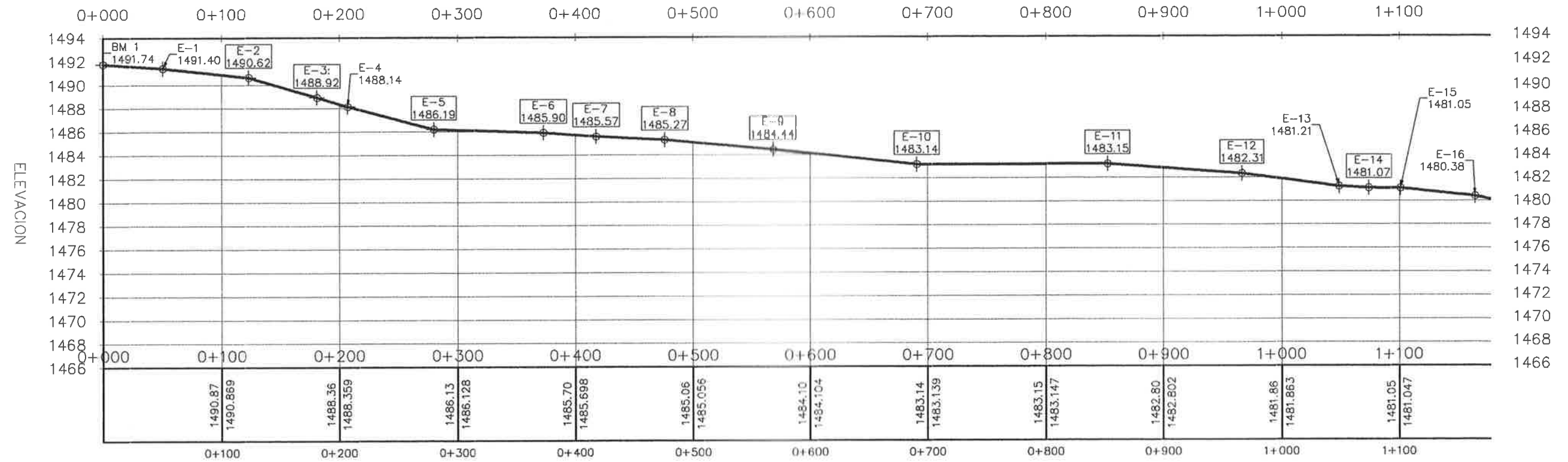
TABLA DE PUNTOS				
Punto No. #	Descripción	Elevación	Norte	Este
41	E-40	1479.57	1613958.21	763443.33
42	E-41	1480.07	1613974.93	763448.67
43	E-42	1481.65	1614029.52	763463.92
44	E-43	1482.80	1614083.40	763479.46
45	E-44	1482.95	1614109.82	763486.82
46	E-45	1483.16	1614133.20	763493.54
47	E-46	1483.91	1614183.28	763507.64
48	E-47	1484.24	1614208.90	763515.00
49	E-48	1484.55	1614234.46	763522.15

TABLA DE PUNTOS				
Punto No. #	Descripción	Elevación	Norte	Este
50	E-49	1484.72	1614258.22	763547.38
51	E-50	1485.13	1614285.00	763555.45
52	E-51	1485.46	1614303.01	763564.94
53	E-52	1486.23	1614328.90	763610.26
54	E-53	1486.47	1614319.69	763634.46
55	E-54	1487.93	1614312.66	763690.27
56	E-56	1488.75	1614276.03	763744.96
57	E-57	1488.80	1614247.79	763741.47
58	BM-2	1488.58	1614213.07	763733.67

JUAN RAMON ORDOÑEZ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Colegiado No. 4052

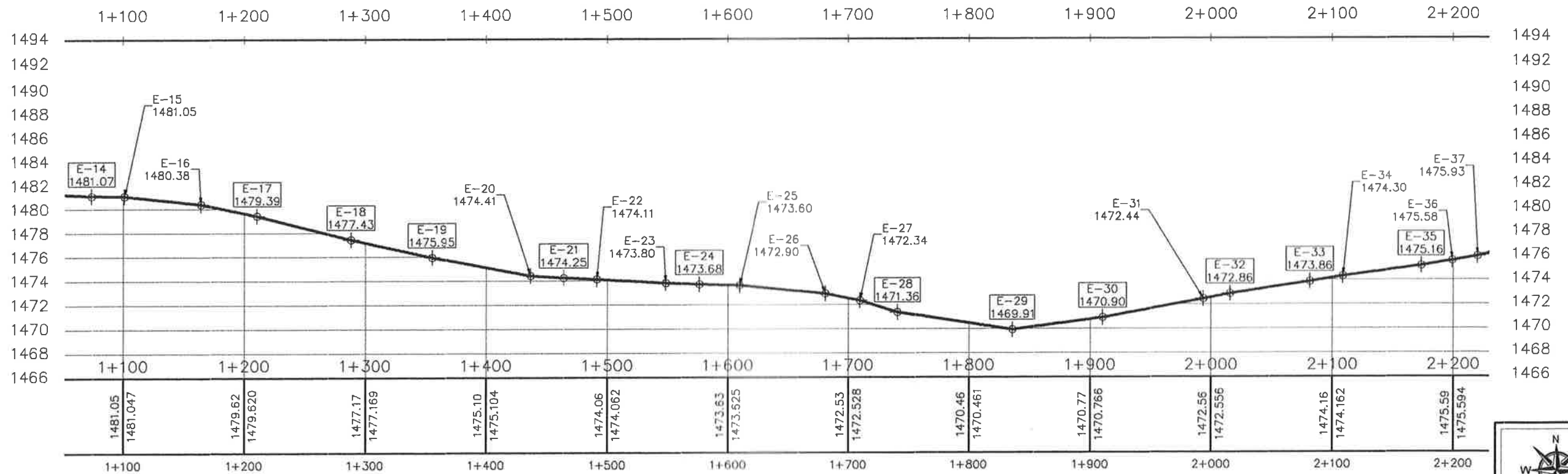
PROYECTO: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LEVANTAMIENTOS ALTIMÉTRICOS	FECHA: JULIO DE 2017
PLANO: PLANTA DE LEVANTAMIENTO CON ESTACIÓN TOTAL	ESCALA: INDICADA
AUTOR: ANSELMO MACTZUL	No. 1/3
REVISÓ: ING. JUAN RAMÓN ORDOÑEZ HERNÁNDEZ	

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



PERFIL DE ESTACIÓN 0+000 A ESTACIÓN 1+100 m

ESCALA 1:2500



PERFIL DE ESTACIÓN 1+100 A ESTACIÓN 2+200 m

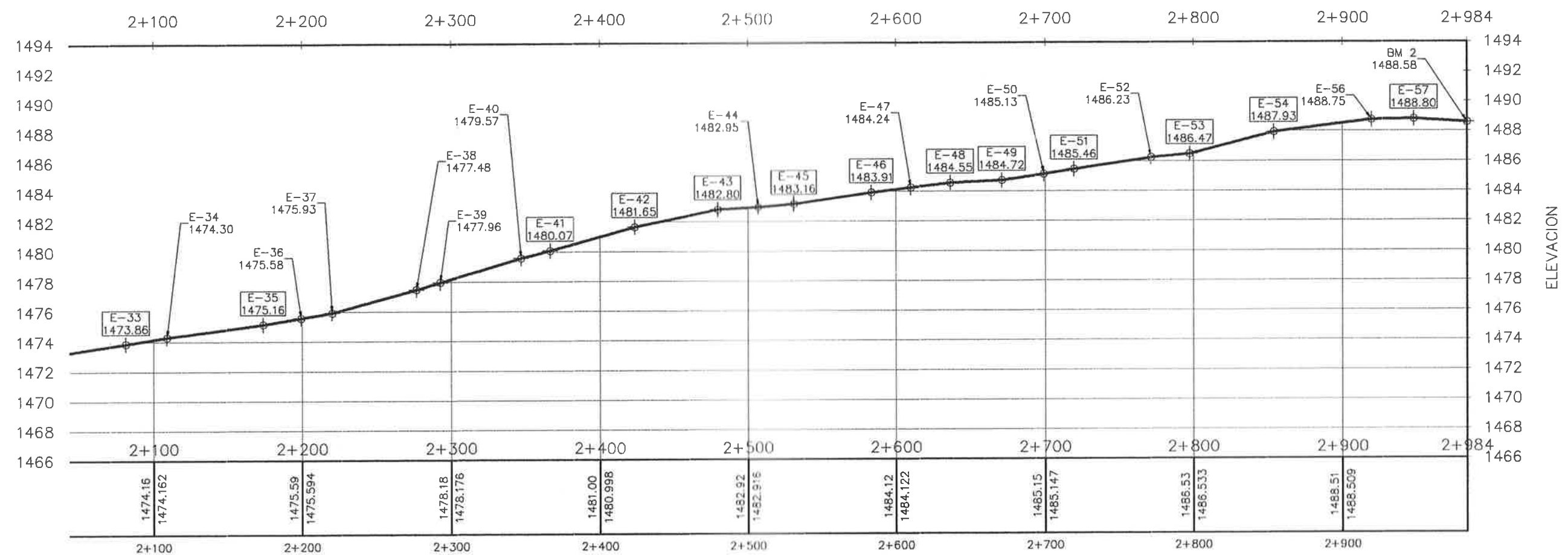
ESCALA 1:2500

JUAN RAMÓN ORDOÑEZ HERNÁNDEZ
INGENIERO CIVIL
Colegiado No. 4052

PROYECTO:	ANÁLISIS COMPARATIVO DE LEVANTAMIENTOS ALTIMÉTRICOS
PLANO:	PERFIL DE LEVANTAMIENTO CON ESTACIÓN TOTAL
AUTOR:	ANSELMO MACTZUL
REVISÓ:	ING. JUAN RAMÓN ORDOÑEZ HERNÁNDEZ



FECHA:	JULIO DE 2017
ESCALA:	INDICADA
No.	2/3



PERFIL DE ESTACIÓN 2+100 A ESTACIÓN 2+984 m

ESCALA 1:2000

JUAN RAMON ORDOÑEZ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Colegiado No. 4052



PROYECTO: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LEVANTAMIENTOS ALTIMÉTRICOS
PLANO: PERFIL DE LEVANTAMIENTO CON ESTACIÓN TOTAL
AUTOR: ANSELMO MACTZUL
REVISÓ: ING. JUAN RAMÓN ORDOÑEZ HERNÁNDEZ

FECHA: JULIO DE 2017
ESCALA: INDICADA
No. 3/3

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



TABLA DE PUNTOS				
Punto	Elevación	Norte	Este	Descripción
1	1491.74	1614200.61	764484.15	BM-1
2	1491.40	1614228.80	764442.59	E-1
3	1490.66	1614233.25	764369.96	E-2
4	1488.93	1614245.14	764312.87	E-3
5	1488.15	1614248.62	764287.10	E-4
6	1486.21	1614260.15	764215.31	E-5
7	1485.87	1614217.10	764132.53	E-6
8	1485.54	1614172.72	764129.13	E-7
9	1485.22	1614115.11	764121.51	E-8
10	1484.38	1614023.18	764111.39	E-9
11	1483.05	1613908.58	764068.88	E-10
12	1483.06	1613933.96	763909.13	E-11
13	1482.19	1613943.82	763795.51	E-12
14	1481.18	1613865.84	763769.14	E-13
15	1480.99	1613840.69	763766.05	E-14
16	1480.97	1613814.06	763762.40	E-15
17	1480.32	1613751.63	763753.76	E-16
18	1479.27	1613705.00	763750.78	E-17
19	1477.40	1613674.98	763679.29	E-18
20	1475.06	1613677.12	763612.45	E-19

TABLA DE PUNTOS				
Punto	Elevación	Norte	Este	Descripción
1	1491.74	1614200.61	764484.15	BM-1
2	1491.40	1614228.80	764442.59	E-1
3	1490.66	1614233.25	764369.96	E-2
4	1488.93	1614245.14	764312.87	E-3
5	1488.15	1614248.62	764287.10	E-4
6	1486.21	1614260.15	764215.31	E-5
7	1485.87	1614217.10	764132.53	E-6
8	1485.54	1614172.72	764129.13	E-7
9	1485.22	1614115.11	764121.51	E-8
10	1484.38	1614023.18	764111.39	E-9
11	1483.05	1613908.58	764068.88	E-10
12	1483.06	1613933.96	763909.13	E-11
13	1482.19	1613943.82	763795.51	E-12
14	1481.18	1613865.84	763769.14	E-13
15	1480.99	1613840.69	763766.05	E-14
16	1480.97	1613814.06	763762.40	E-15
17	1480.32	1613751.63	763753.76	E-16
18	1479.27	1613705.00	763750.78	E-17
19	1477.40	1613674.98	763679.29	E-18
20	1475.96	1613677.12	763612.45	E-19

PLANTA DE LEVANTAMIENTO CON NIVELACIÓN DIFERENCIAL

ESCALA 1:3500

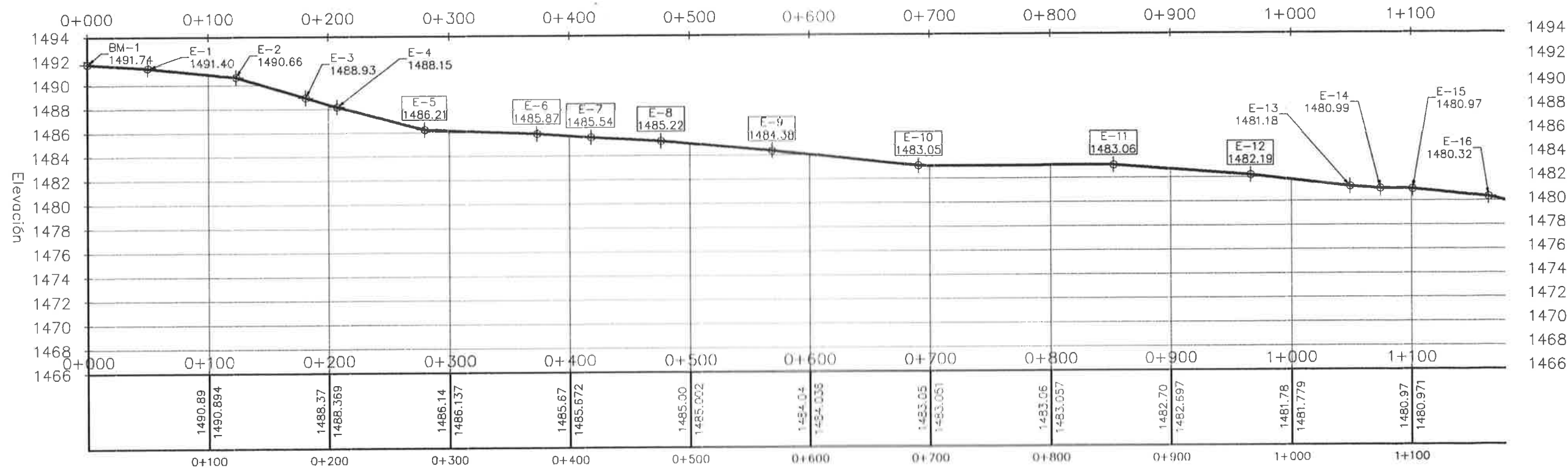
TABLA DE PUNTOS				
Punto	Elevación	Norte	Este	Descripción
41	1479.56	1613956.21	763443.33	E-40
42	1480.06	1613974.93	763448.67	E-41
43	1481.64	1614029.52	763463.92	E-42
44	1482.80	1614083.40	763479.46	E-43
45	1482.94	1614109.82	763486.82	E-44
46	1483.15	1614133.20	763493.54	E-45
47	1483.94	1614183.28	763507.64	E-46
48	1484.28	1614208.90	763515.00	E-47
49	1484.55	1614234.46	763522.15	E-48
50	1484.71	1614258.22	763547.36	E-49

TABLA DE PUNTOS				
Punto	Elevación	Norte	Este	Descripción
51	1485.12	1614285.00	763555.45	E-50
52	1485.47	1614303.01	763564.94	E-51
53	1486.23	1614328.90	763610.26	E-52
54	1486.45	1614319.69	763634.46	E-53
55	1487.91	1614312.66	763690.27	E-54
56	1487.96	1614300.77	763747.41	E-55
57	1488.74	1614276.03	763744.96	E-56
58	1488.78	1614247.79	763741.47	E-57
59	1488.55	1614213.07	763733.67	BM-2

JUAN RAMON ORDOÑEZ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Colegiado No. 4052

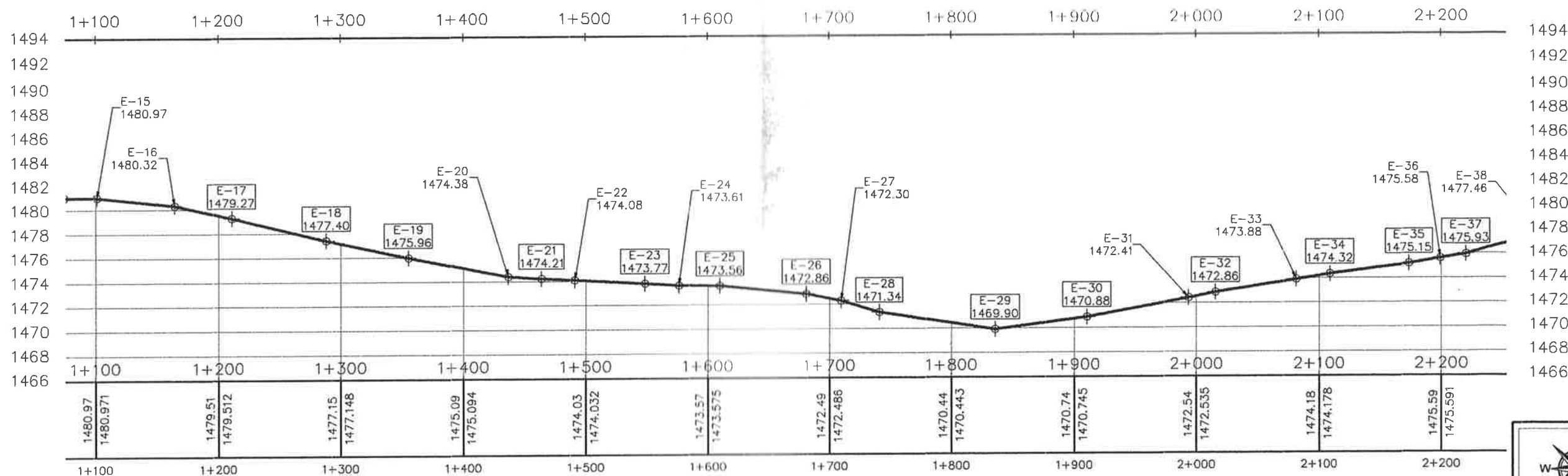
PROYECTO: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LEVANTAMIENTOS ALTIMÉTRICOS	FECHA: JULIO DE 2017
PLANO: PLANTA DE LEVANTAMIENTO CON NIVELACIÓN DIFERENCIAL	ESCALA: INDICADA
AUTOR: ANSELMO MACTZUL	No. 1/3
REVISÓ: ING. JUAN RAMÓN ORDOÑEZ HERNÁNDEZ	

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



PERFIL DE ESTACIÓN 0+000 A ESTACIÓN 1+100 m

ESCALA 1:2500



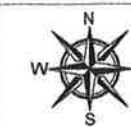
PERFIL DE ESTACIÓN 1+100 A ESTACIÓN 2+200 m

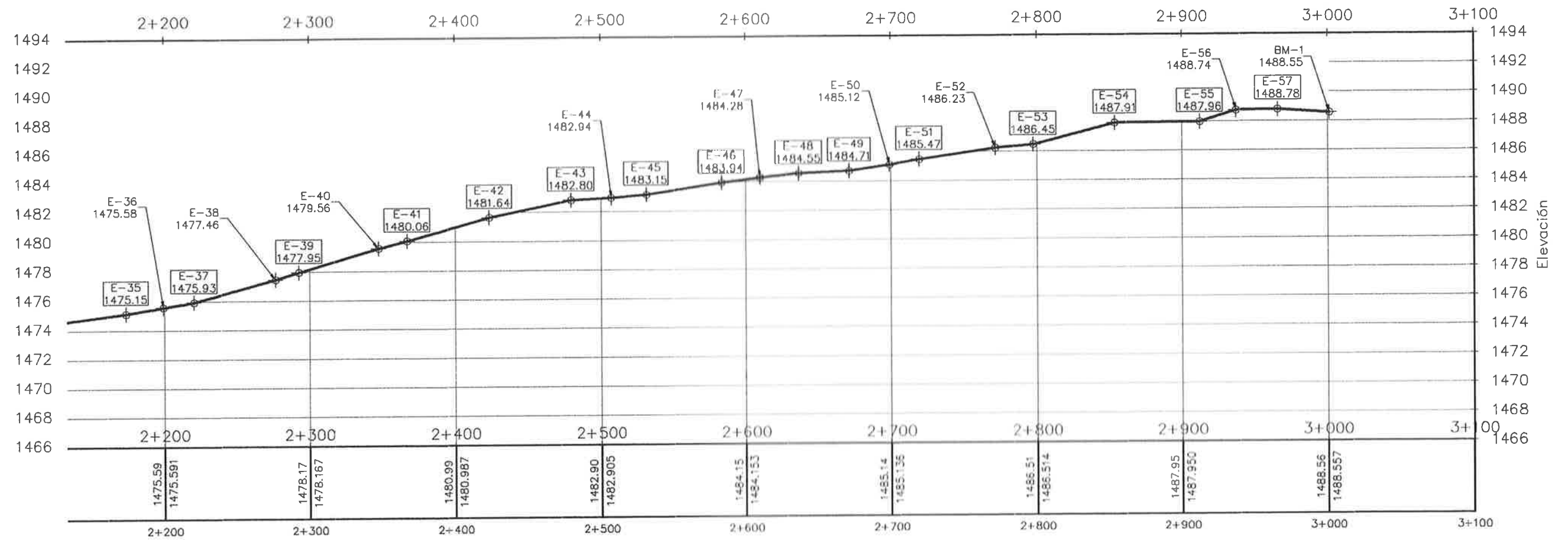
ESCALA 1:2500

JUAN RAMÓN ORDOÑEZ HERNÁNDEZ
INGENIERO CIVIL
Colegiado No. 4052

PROYECTO:
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LEVANTAMIENTOS ALTIMÉTRICOS
PLANO:
PERFIL DE LEVANTAMIENTO CON NIVELACIÓN DIFERENCIAL
AUTOR:
ANSELMO MACTZUL
REVISÓ:
ING. JUAN RAMÓN ORDOÑEZ HERNÁNDEZ

FECHA:
JULIO DE 2017
ESCALA:
INDICADA
No.
2/3





PERFIL DE ESTACIÓN 2+200 A ESTACIÓN 3+000 m

ESCALA 1:2000

[Signature]

JUAN RAMON ORDOÑEZ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Colegiado No. 4052



PROYECTO:	ANÁLISIS COMPARATIVO DE LEVANTAMIENTOS ALTÍMETRICOS
PLANO:	PERFIL DE LEVANTAMIENTO CON NIVELACIÓN DIFERENCIAL
AUTOR:	ANSELMO MACTZUL
REVISÓ:	ING. JUAN RAMÓN ORDOÑEZ HERNÁNDEZ

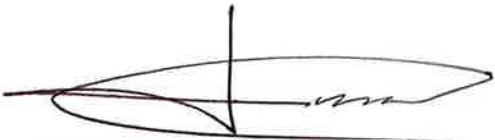
FECHA:	JULIO DE 2017
ESCALA:	INDICADA
No.	3/3



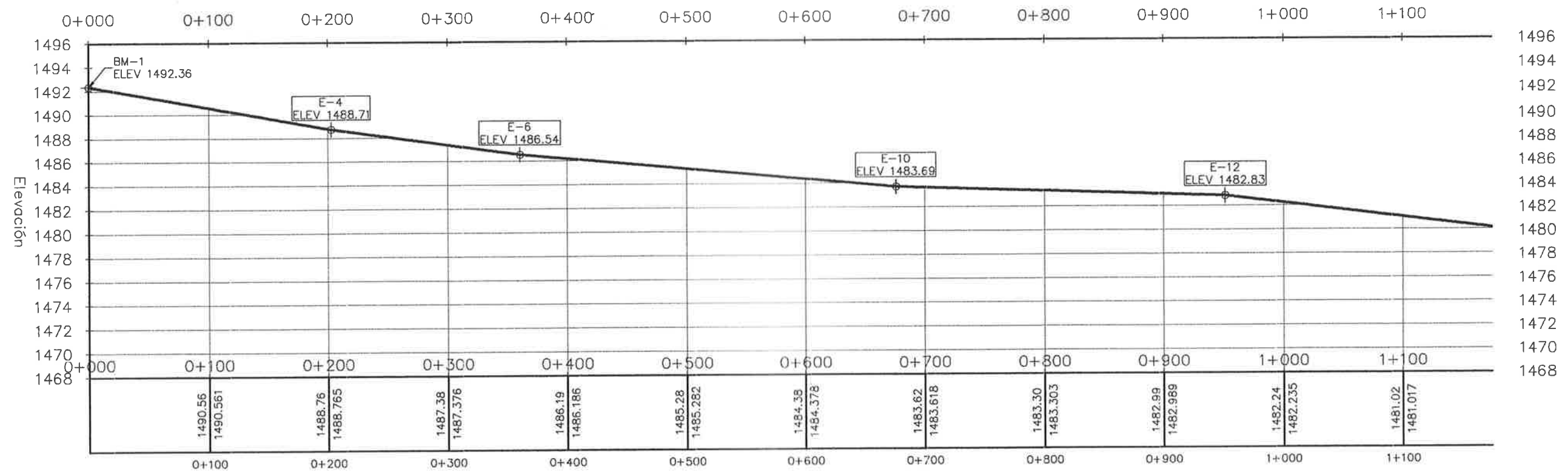
TABLA DE PUNTOS				
Punto No.	Descripción	Elevación	Norte	Este
1	BM-1	1482.36	1614200.61	764484.15
2	E-4	1488.71	1614246.91	764286.67
3	E-6	1486.54	1614214.06	764132.36
4	E-10	1483.69	1613904.90	764071.39
5	E-12	1482.83	1613937.72	763797.62
6	E-17	1479.87	1613698.45	763754.98
7	E-19	1476.33	1613669.31	763616.87
8	E-21	1474.69	1613595.75	763543.03
9	E-25	1473.90	1613481.03	763453.22
10	E-28	1471.89	1613488.91	763322.74
11	E-30	1471.29	1613600.29	763242.59
12	E-33	1474.29	1613769.70	763265.05
13	E-36	1475.98	1613847.17	763343.95
14	E-39	1478.32	1613900.04	763417.03
15	E-42	1482.00	1614020.51	763464.92
16	E-45	1483.53	1614124.51	763493.54
17	E-48	1484.91	1614226.08	763521.15
18	E-51	1485.82	1614295.21	763563.96
19	E-54	1488.23	1614306.05	763688.52
20	BM-2	1489.17	1614213.08	763732.92

PLANTA DE LEVANTAMIENTO CON GPS

ESCALA 1:3500

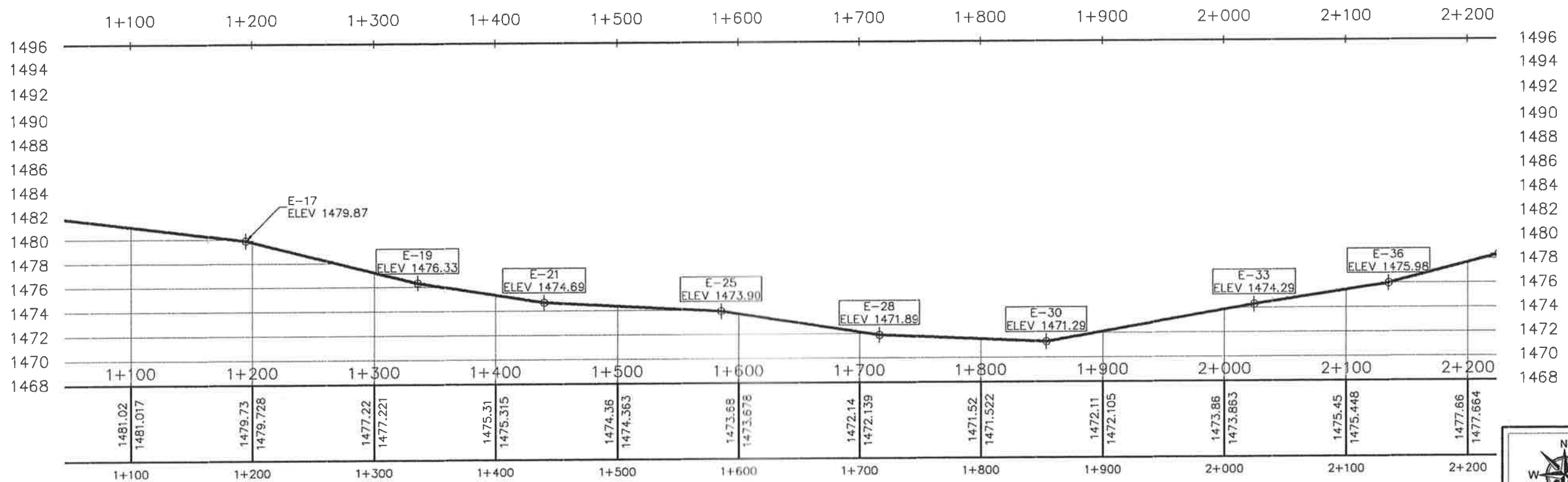

JUAN RAMON ORDOÑEZ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Colegiado No. 4052

PROYECTO: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LEVANTAMIENTOS ALTIMÉTRICOS	FECHA: JULIO DE 2017
PLANO: PLANTA DE LEVANTAMIENTO CON GPS	ESCALA: INDICADA
AUTOR: ANSELMO MACTZUL	No. 1/3
REVISÓ: ING. JUAN RAMÓN ORDOÑEZ HERNÁNDEZ	



PERFIL DE ESTACIÓN 0+000 A ESTACIÓN 1+100 m

ESCALA 1:2500



PERFIL DE ESTACIÓN 1+100 A ESTACIÓN 2+200 m

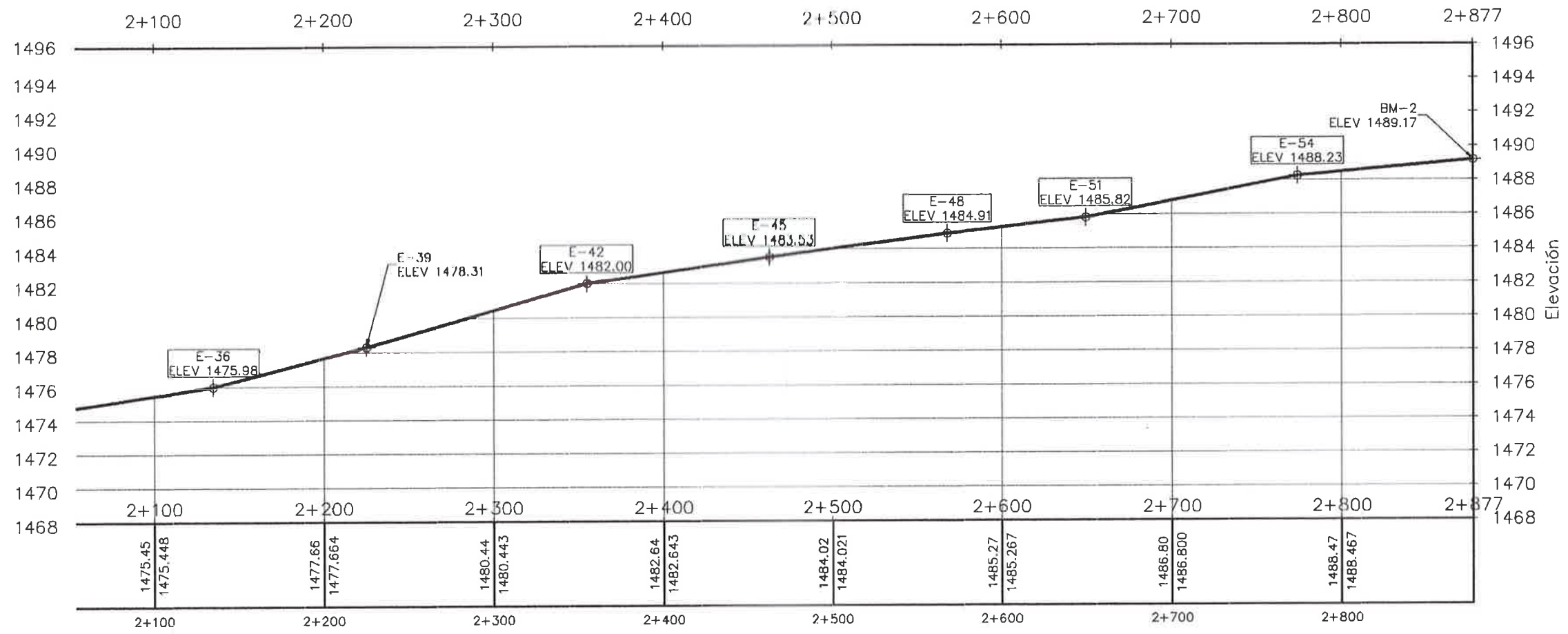
ESCALA 1:2500


 JUAN RAMON ORDONEZ HERNANDEZ
 INGENIERO CIVIL
 Colegiado No. 4052

PROYECTO:	ANÁLISIS COMPARATIVO DE LEVANTAMIENTOS ALTIMÉTRICOS
PLANO:	PERFIL DE LEVANTAMIENTO CON GPS
AUTOR:	ANSELMO MACTZUL
REVISÓ:	ING. JUAN RAMÓN ORDÓÑEZ HERNÁNDEZ

FECHA:	JULIO DE 2017
ESCALA:	INDICADA
No.	2/3





PERFIL DE ESTACIÓN 2+100 A ESTACIÓN 2+877 m

ESCALA 1:2000

JUAN RAMON ORDOÑEZ HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Colegiado No. 4052



PROYECTO:	ANÁLISIS COMPARATIVO DE LEVANTAMIENTOS ALTIMÉTRICOS
PLANO:	PERFIL DE LEVANTAMIENTO CON GPS
AUTOR:	ANSELMO MACTZUL
REVISÓ:	ING. JUAN RAMÓN ORDOÑEZ HERNÁNDEZ

FECHA:	JULIO DE 2017
ESCALA:	INDICADA
No.	3/3

ANEXOS

Anexo 1. Estación total Trimble M3



Fuente: Trimble. *Manual de usuario de la estación total Trimble M3*. p. 10.

Anexo 2. Especificaciones de la estación total Trimble M3

Telescopio	
Longitud del tubo	125 mm
Aumento	30x
Diámetro efectivo del objetivo	40mm MED 45mm
Imagen	Vertical
Campo visual	1°20' 2,3 m a 100 m
Potencia de resolución	3,0"
Alcance de medición	
Distancia inferior	1,5 m
Prisma estándar	3 000 m
Reflexión directa	400 m
Precisión de distancias	
Modo prisma	$\pm (2 + 2 \text{ ppm} \times D) \text{ mm}^*$
Reflexión directa	$\pm (3 + 2 \text{ ppm} \times D) \text{ mm}^*$
Intervalos de medición	
Modo prisma	1,6 s
Reflexión directa	2,1 s
Medición de ángulos	
Sistema de lectura	Codificador absoluto Lectura diametral en HA/VA
Sensor de inclinación	
Método	Detección líquida-eléctrica (Eje dual)
Rango de compensación	$\pm 3'$
Tornillos tangenciales	
Trimble M3 DR 1	Sistema de sujeción
Base nivelante	
Tipo	Desmontable
Nivel	
Nivel electrónico	Desplegado en la pantalla LCD
Vial de nivel circular	Sensibilidad 10"/2 mm

Continuación del anexo 2.

Plomada óptica	
Imagen	Vertical
Aumento	3x
Campo visual	5°
Distancia de enfoque	0,5 m
Plomada laser	
Longitud de onda	635 nm
Laser	Clase 2
Distancia de enfoque	Infinito
Diámetro del laser	Aprox. 2 mm
Paquete de baterías	
Voltaje de salida	3,8 V DC recargable
Tiempo de funcionamiento continuo	
Mediciones de ángulo/distancia continuas	Aprox. 28 horas
Rendimiento en el medio	
Rango de temperatura de funcionamiento	Entre -20 °C y +50 °C
Rango de temperatura de almacenamiento	Entre -25 °C y +60 °C
Dimensiones	
Unidad principal	149 mm W x 158,5 mm D x 308 mm H
Estuche	435 mm W x 206 mm D x 297 mm H
Peso	
Unidad principal	4,2 kg
Batería	0,1 kg
Estuche	2,3 kg
Cargador y adaptador AC	0,4 kg Aprox.

Fuente: Trimble. *Manual de usuario estación total Trimble M3*. p. 5.

Anexo 3. Nivel de precisión South NL-28



Fuente: South. <http://www.geosysteming.com>. Consulta: 27 de enero de 2017.

Anexo 4. Especificaciones del nivel de precisión South NL-28

Precisión	
Desviación estándar por 1 km doble de nivelación	$\pm 1,5 \text{ mm}$
Telescopio	
Imagen	Directa
Aumentos	28 x
Diámetros	36 mm
Campo de visión	1°20'
Enfoque mínimo	0,5 m
Radio de taquimetría	100
Constante de taquimetría	0
Compensador	
Rango de compensación	+ 15'
Precisión	+0,6"
Sensibilidad del nivel ocular	10 ' / 2 mm
Lectura de círculo horizontal	1° o 1 Gon

Fuente: Geosystem. <http://www.geosysteming.com>. Consulta: 27 de enero de 2017.

Anexo 5. GPS diferencial ProMark2



Fuente: ProMark. *Sistema de medición ProMark2, guía de medición para el usuario.* p. 1.

Anexo 6. Especificaciones del GPS diferencial ProMark2

Parámetro	Especificación
Modalidad de medición GPS	Estática
Precisión de la medición (RMS)	Horizontal: 0,005 m + 1 ppm Vertical: 0,010 m + 2 ppm
Precisión de navegación (RMS)	<3 m con antena externa (con WAAS) 5 m con antena interna (con WAAS)
Distancia a medir (longitud del vector)	Hasta 20 kilómetros Sobre 20 kilómetros, posiblemente durante períodos de baja actividad ionosférica
Tiempo de observación	20 a 60 minutos normalmente, dependiendo de la longitud del vector

Continuación del anexo 6.

Canales de satélites GPS	10
Canales de satélites WAAS / EGNOS	2 (1 WAAS / 1 EGNOS)
Angulo de corte de satélites GPS 1	10 grados
Intervalo de grabación	10 segundos
Rango de temperatura de operación	-10°C a + 60°C
Tipo de batería	2 AA alcalinas o litio
Duración de la Batería	Interna (2 AA): Hasta 8 horas con alcalinas @ 20 °C Hasta 13 horas con litio @ 20 °C Externa + interna (6 AA): Hasta 24 horas con alcalinas @ 20 °C Hasta 39 horas con litio @ 20 °C
Capacidad de almacenamiento de datos en la memoria	8 MB 72 horas de datos de medición 100 archivos de datos
Nota: Bajo -10 °C, la pantalla de ProMark2 eventualmente quedará en blanco. Aunque la pantalla esté en blanco, el receptor aún opera normalmente, grabando datos de la medición. La exposición prolongada a temperaturas bajo los 20 °C podría dañar la pantalla de ProMark2.	

Fuente: ProMark2. *Sistema de medición ProMark2, guía de medición para el usuario.* p. 14.

Anexo 7. Datos banco de marca Santa Elisa

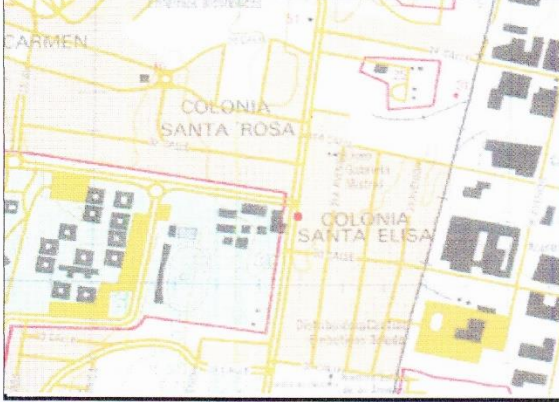
 Gobierno de Guatemala Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación		MONOGRAFIA DE LA COTA FIJA			
NACION:	GUATEMALA	LINEA:	CIUDAD	NOMBRE:	SANTA ELISA
DEPARTAMENTO:	Guatemala	ORDEN:	Primer	ELEVACIÓN:	1,491.7443 MSNMM
MUNICIPIO:	Guatemala	TRAYECTO:	Area Metropolitana	ESTAMPADO:	BM SANTA ELISA IGN 2010
ESTABLECIDA POR:	Instituto Geográfico Nacional	CARACTERISTICA:	Ficha de bronce de 6 cms de diámetro	DATUM:	Puerto San José, 1949/50

La marca se encuentra a nivel de la banquetta, incrustada en la esquina NE de una caja de Guatel, ubicada en la acera NE de la calle Real de Petapa. Casi enfrente a la salida de la USAC.

Distancia del BM al BM : Kms.

REFERENCIAS	AZIMUT	DISTANCIAS	ALTURAS
	0°	00.00 m.	
	0°	00.00 m.	
	0°	00.00 m.	

Latitud: 14° 35' 17.23" N
 Longitud: 90° 32' 42.61" W
 Coordenadas obtenidas de GPS navegador



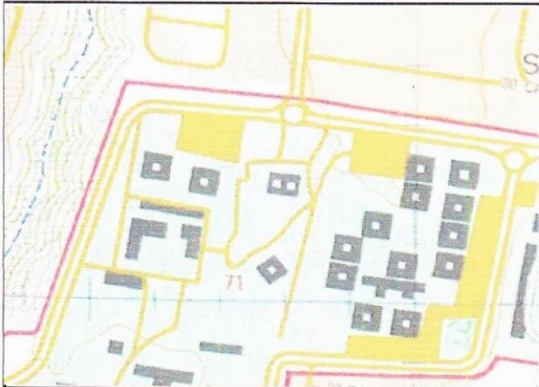
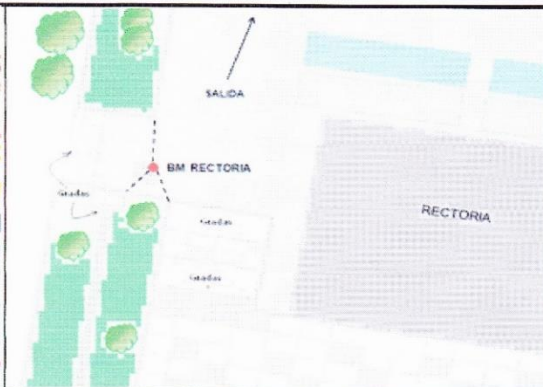




Recuperado por: O. Cruz y F. Lopez Institución: IGN Año: 2010

Fuente: Instituto Geográfico Nacional (IGN). Fecha: 31 de enero de 2017.

Anexo 8. Datos banco de marca, Rectoría Usac

Gobierno de Guatemala Ministerio del Agricultura, Gacetería y Alimentación		MONOGRAFIA DE LA COTA FIJA		Instituto Geográfico Nacional																	
NACION:	GUATEMALA	LINEA:	CIUDAD	NOMBRE:	RECTORIA USAC																
DEPARTAMENTO:	Guatemala	ORDEN:	Primer	ELEVACIÓN:	1,488.5692 MSNMM																
MUNICIPIO:	Guatemala	TRAYECTO:	Área Metropolitana	ESTAMPADO:	RECTORIA USAC IGN 2008																
ESTABLECIDA POR:	Instituto Geográfico Nacional	CARACTERÍSTICA:	Ficha de bronce de 7.5 cms de diámetro	DATUM:	Puerto San José, 1949/50																
La marca se encuentra incrustada en la orilla de una caja telefonica, la cual se encuentra al oeste del edificio de la rectoría y al noreste de las gradas que llevan a la plaza Los Martires de la USAC. Distancia del BM al BM : Kms. <table border="1"> <thead> <tr> <th>REFERENCIAS</th> <th>AZIMUT</th> <th>DISTANCIAS</th> <th>ALTURAS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0°</td> <td>00.00 m.</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>0°</td> <td>00.00 m.</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>0°</td> <td>00.00 m.</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> Latitud: 0° 0.0' 0.0" N Longitud: 0° 0.0' 0.0" W Coordenadas obtenidas de GPS navegador						REFERENCIAS	AZIMUT	DISTANCIAS	ALTURAS		0°	00.00 m.			0°	00.00 m.			0°	00.00 m.	
REFERENCIAS	AZIMUT	DISTANCIAS	ALTURAS																		
	0°	00.00 m.																			
	0°	00.00 m.																			
	0°	00.00 m.																			
																					
																					

Recuperado por: F. López y L. Sandoval

Institución: IGN

Año: 2008

Fuente: Instituto Geográfico Nacional (IGN). Fecha: 31 de enero de 2017.