



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

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LEVANTAMIENTOS POR MÉTODO
TAQUIMÉTRICO Y LEVANTAMIENTOS EMPLEANDO ESTACIÓN TOTAL**

Eleazar Nefaly Mendez Monroy

Asesorado por el Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno

Guatemala, octubre de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LEVANTAMIENTOS POR MÉTODO
TAQUIMÉTRICO Y LEVANTAMIENTOS EMPLEANDO ESTACIÓN TOTAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

ELEAZAR NEFTALY MENDEZ MONROY

ASESORADO POR EL ING. ALFREDO ENRIQUE BEBER ACEITUNO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Crecencio Benjamín Cifuentes Velásquez
EXAMINADOR	Ing. Alan Giovani Cosillo Pinto
EXAMINADOR	Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

Guatemala, 16 de Julio de 2014

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 POR MÉTODO TAQUIMÉTRICO Y LEVANTAMIENTOS EMPLEANDO ESTACIÓN TOTAL"**, desarrollado por el estudiante universitario Eleazar Neftaly Mendez Monroy, 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,


Alfredo E. Beber
INGENIERO CIVIL
COLEGIADO No. 3079

Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno

Ing. Civil. Colegiado No. 3079

Asesor



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, 5 de Septiembre de 2014

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 POR MÉTODO TAQUIMÉTRICO Y LEVANTAMIENTOS EMPLEANDO ESTACIÓN TOTAL”** desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Eleazar Neftaly Mendez Monroy con carné 2008-15426, quien contó con la asesoría del Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno.

Considero 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 INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
TRANSPORTES
USAC

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



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno y del Coordinador del Área de Topografía y Transportes, Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila, al trabajo de graduación del estudiante Eleazar Neftaly Mendez Monroy, titulado **ANÁLISIS COMPARATIVO DE LEVANTAMIENTOS POR MÉTODO TAQUIMÉTRICO Y LEVANTAMIENTOS EMPLEANDO ESTACIÓN TOTAL**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, octubre 2014.

/bbdeb.

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





DTG. 569.2014

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 POR MÉTODO TAQUIMÉTRICO Y LEVANTAMIENTOS EMPLEANDO ESTACIÓN TOTAL**, presentado por el estudiante universitario **Eleazar Neftaly Mendez Monroy**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympo Par Recinos
Decano



Guatemala, 22 de octubre de 2014

/gdech

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 POR MÉTODO TAQUIMÉTRICO Y LEVANTAMIENTOS EMPLEANDO ESTACIÓN TOTAL

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha dos de noviembre de 2012.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Eleazar Neftaly Mendez Monroy', is written over a large, light-colored scribble or stamp.

Eleazar Neftaly Mendez Monroy

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Consiliario, y bienhechor de mi vida.

Pueblo de Guatemala

A quien debo la educación superior y el íntegro ejercicio de mi profesión.

AGRADECIMIENTOS A:

- Mis padres** Por su apoyo moral y espiritual cuando fui menester de ellos.
- La Universidad de San Carlos de Guatemala** Alma máter; grande entre las del mundo, forjadora de mi intelecto y conocimiento.
- El área de Topografía y Transporte de la FIUSAC** Por el apoyo y por facilitar el equipo e instrumentos necesarios utilizados en la realización de este trabajo de graduación.
- Mi asesor** Ing. Alfredo Beber. Por compartir su tiempo y conocimiento de forma desinteresada.
- Mi hermano** Samuel Méndez. Por su colaboración y asistencia en la aplicación práctica de este trabajo de graduación.
- Mis amigos** Joel Mejía, Luis Mejía, Gerson Gil, Edgar López, Hansel García, Manuel Tun, Byron Poz, Lester Luna, Mary Carrillo, Karla Álvarez, Sarah Chicohay, Jennyfer Castro, Claudia Mendoza, Paulina Rivera, Walter Mansilla, Erick Morales, Lester Pineda, Herber Corado y José Carrillo. Su amistad y las vivencias son invaluable, las llevaré siempre en mi memoria.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. GENERALIDADES DE TOPOGRAFÍA.....	1
1.1. Topografía	1
1.2. Tipos de levantamientos.....	3
1.2.1. Levantamientos catastrales	3
1.2.1. Levantamientos de construcción	4
1.2.3. Levantamientos de obra terminada	4
1.2.4. Levantamientos de vías de comunicación	5
1.2.5. Otros levantamientos de topografía.....	5
1.3. Mediciones topográficas.....	6
1.3.1. Planimetría.....	7
1.3.2. Altimetría.....	8
1.4. Importancia de la topografía y los levantamientos topográficos.....	9
1.5. Errores, equivocaciones y factores influyentes teóricos en levantamientos topográficos	10
2. TAQUIMETRÍA.....	13
2.1. Reseña histórica de la taquimetría	13

2.2.	Generalidades de taquimetría	14
2.3.	Instrumentos empleados en levantamientos taquimétricos	15
2.4.	Principios de la taquimetría	19
2.5.	Procedimientos teóricos y prácticos para levantamientos taquimétricos	24
2.5.1.	Registros de campo	25
2.5.2.	Procedimientos de gabinete	30
2.6.	Precisión teórica y posibles causas de error	34
3.	LEVANTAMIENTOS CON ESTACIÓN TOTAL	37
3.1.	Características de los instrumentos de estación total	37
3.1.1.	Tipos de estación total	39
3.1.2.	Programas y aplicaciones de estación total	43
3.2.	Instalación y operación de las estaciones totales	55
3.3.	Mediciones con estación total	59
3.3.1.	Medición de niveles	59
3.3.2.	Medición de distancias	60
3.3.3.	Medición de ángulos	61
3.3.4.	Procesamiento de datos	64
3.4.	Precisión teórica y posibles causas de error	65
4.	ANÁLISIS DE MÉTODO TAQUIMÉTRICO	71
4.1.	Análisis de medición de distancias	72
4.2.	Análisis de nivelación	80
4.3.	Levantamiento de polígonos	88
4.4.	Replanteo de tramo vial	99
4.5.	Levantamiento de obra terminada	104
4.6.	Curvas de nivel	106

5.	ANÁLISIS DE LEVANTAMIENTO CON ESTACIÓN TOTAL	111
5.1.	Análisis de medición de distancias	112
5.2.	Análisis de nivelación	114
5.3.	Levantamiento de polígonos.....	116
5.4.	Replanteo de tramo vial.....	123
5.5.	Levantamiento de obra terminada	127
5.6.	Curvas de nivel.....	128
6.	ANÁLISIS DE ERRORES Y FACTORES DE INFLUENCIA.....	131
6.1.	Levantamientos taquimétricos	131
6.1.1.	Análisis de errores	132
6.1.2.	Factores influyentes.....	133
6.2.	Levantamientos con estación total	136
6.2.1.	Análisis de errores en levantamientos con estación total.....	136
6.2.2.	Factores que influyen en levantamientos con estación total.....	137
7.	ANÁLISIS COMPARATIVO Y RESULTADOS	139
7.1.	Comparaciones entre análisis de método taquimétrico y levantamientos con estación total.....	139
7.1.1.	Medición de distancias	139
7.1.2.	Nivelación	141
7.1.3.	Levantamientos de polígonos	142
7.1.4.	Levantamientos de replanteo vial	143
7.1.5.	Levantamientos de obras terminadas	143
7.1.6.	Curvas de nivel	144
7.2.	Procedimientos recomendados para levantamientos	145
7.2.1.	Método taquimétrico	145

7.2.2.	Levantamientos con estación total	146
7.3.	Ventajas y desventajas	146
7.4.	Resultados	148
CONCLUSIONES.....		151
RECOMENDACIONES		153
BIBLIOGRAFÍA.....		155
ANEXOS.....		157

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquemas de retícula para instrumentos ópticos	15
2.	Anteojos de enfoque interno y externo.....	16
3.	Telescopio de anteojo de enfoque interno	17
4.	Diferentes tipos de estadales o miras	18
5.	Principios taquimétricos de visual horizontal.....	19
6.	Principios taquimétricos de visual inclinada	22
7.	Procedimiento de campo para levantamientos taquimétricos	26
8.	Elaboración de tabla para digitalización de datos	31
9.	Efecto de aire caliginoso o denso	36
10.	Estación total	38
11.	Mediciones con estación total <i>one man system</i>	42
12.	Estación total servoasistida o robotizada	43
13.	Menú de replanteo en estación total	44
14.	Puesta en estación libre	45
15.	Distancia de enlace	48
16.	Medición de alturas remotas	51
17.	Cálculo de área con estación total	53
18.	Plomadas para centreado de estación total	56
19.	Centrado de una estación total	56
20.	Niveles de burbuja en estación total.....	57
21.	Funcionamiento básico operacional de una estación total	58
22.	Componentes de un codificador de estación total.....	61
23.	Codificador absoluto.....	62

24.	Disco codificador incremental	63
25.	Inclinación del eje vertical	66
26.	Error del índice vertical	67
27.	Error del eje de puntería o error de colimación	68
28.	Error del eje de inclinación.....	69
29.	Ubicación de medición de distancias	72
30.	Colocación de puntos de medida patrón.....	73
31.	Medición de distancias horizontales	75
32.	Ubicación de medición de niveles.....	81
33.	Croquis de nivelación diferencial	82
34.	Perfil de terreno por nivelación diferencial	84
35.	Croquis de nivelación por taquimetría.....	85
36.	Perfil de terreno por nivelación taquimétrica	88
37.	Ubicación de levantamiento de polígono por radiaciones	89
38.	Croquis de polígono por radiaciones	89
39.	Polígono por radiaciones taquimétricas	92
40.	Ubicación de levantamiento de polígono por conservación del azimut	93
41.	Croquis de polígono por conservación del azimut	94
42.	Polígono por conservación del azimut y taquimetría.....	98
43.	Ubicación del levantamiento de replanteo de tramo vial	99
44.	Croquis de replanteo de tramo vial con taquimetría.....	100
45.	Planta de replanteo vial con taquimetría.....	103
46.	Croquis de levantamiento de obra terminada	104
47.	Levantamiento de obra terminada con taquimetría.....	106
48.	Croquis de levantamiento de curvas de nivel	107
49.	Curvas de nivel por taquimetría	110
50.	Perfil de terreno por nivelación con estación total.....	115
51.	Polígono por radiaciones con estación total	118

52.	Polígono por conservación del azimut y estación total.....	122
53.	Planta de replanteo de tramo vial con estación total.....	126
54.	Levantamiento de obra terminada con estación total.....	128
55.	Curvas de nivel con estación total.....	130
56.	Verticalidad en el estadal.....	134
57.	Niveles de burbuja para estadal.....	134
58.	Visual de estadal para distancias largas.....	135
59.	Miniprisma Leica GMP111.....	138

TABLAS

I.	Formato para registro de levantamientos taquimétricos.....	28
II.	Fórmulas para obtención de factores taquimétricos en Excel.....	33
III.	Procedimiento para puesta en estación libre.....	46
IV.	Procedimiento para distancia de enlace.....	49
V.	Procedimiento para medición de alturas remotas.....	51
VI.	Procedimiento para cálculo de área.....	54
VII.	Puntos patrón para análisis de medición de distancias.....	74
VIII.	Libreta de campo de distancias por método taquimétrico.....	76
IX.	Libreta final de distancias por método taquimétrico.....	79
X.	Libreta de campo de nivelación diferencial.....	83
XI.	Libreta de campo de nivelación por taquimetría.....	86
XII.	Libreta final de nivelación por taquimetría.....	87
XIII.	Libreta de campo de polígono por radiaciones taquimétricas.....	90
XIV.	Libreta final de polígono por radiaciones taquimétricas.....	91
XV.	Libreta de campo de polígono por conservación del azimut y taquimetría.....	95
XVI.	Verificación de cierre angular de polígono por taquimetría.....	95
XVII.	Paso 1: método de Pensilvania para polígono por taquimetría.....	96
XVIII.	Paso 2: método de Pensilvania para polígono por taquimetría.....	97

XIX.	Paso 3: método de Pensilvania para polígono por taquimetría.....	97
XX.	Libreta final de polígono por conservación del azimut y taquimetría.....	98
XXI.	Libreta de campo de replanteo de tramo vial con taquimetría	101
XXII.	Libreta final de replanteo de tramo vial con taquimetría	103
XXIII.	Libreta de campo de obra terminada con taquimetría.....	105
XXIV.	Libreta de campo de curvas de nivel con taquimetría.....	108
XXV.	Información espacial de curvas de nivel con taquimetría.....	109
XXVI.	Libreta de distancias por estación total.....	113
XXVII.	Libreta de nivelación por estación total.....	115
XXVIII.	Libreta de campo polígono por radiaciones con estación total	117
XXIX.	Libreta final de polígono por radiaciones con estación total	118
XXX.	Libreta de campo de polígono por conservación del azimut y estación total.....	119
XXXI.	Verificación de cierre angular de polígono con estación total	120
XXXII.	Paso 1: método Pensilvania para polígono con estación total.....	120
XXXIII.	Paso 2: método Pensilvania para polígono con estación total.....	121
XXXIV.	Paso 3: método Pensilvania para polígono con estación total.....	121
XXXV.	Libreta final de polígono por conservación del azimut y estación total	122
XXXVI.	Libreta de replanteo de tramo vial con estación total.....	124
XXXVII.	Libreta final de replanteo vial con estación total	126
XXXVIII.	Libreta de campo de obra terminada con estación total	127
XXXIX.	Información espacial de curvas de nivel con estación total	129
XL.	Análisis de errores en medición de distancias con taquimetría	132
XLI.	Resumen de resultados obtenidos en análisis comparativo	148

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
z	Ángulo cenital
cm	Centímetro
K	Constante de estadía
e	Error de colimación
a	Error del eje de inclinación
i	Error del índice vertical
°	Grados
Li-ion	Ion de litio
kB	Kilobyte
kg	Kilogramos
km	Kilómetro
l	Lectura de estadía
MB	Megabyte
m	Metro
mm	Milímetro
'	Minutos
NiCd	Níquel cadmio
Ni-Mh	Níquel e hidruro metálico
ppm	Partes por millón
%	Porcentaje
”	Segundos
,	Separador de decimales
m/m	Unidad de longitud unitaria

GLOSARIO

Aire caliginoso	Fenómeno ambiental en el que se da la sensación de un aire denso o espeso en el que se dificulta la visibilidad.
BM	Banco de marca. Referencia de información conocida, real o asumida, utilizada para levantamientos topográficos.
Croquis	Diseño ligero de un terreno, paisaje o posición militar, que se hace a ojo y sin valerse de instrumentos geométricos.
DIN	Instituto Alemán de Normalización (Deutsches Institut für Normung).
Error absoluto	Es la diferencia entre el valor de una medida y el valor de esta tomada como exacta.
Error relativo	Es el cociente entre el error absoluto y el valor exacto de una medición; no tiene unidad e indica la precisión de la medición, ya que cuanto menor sea el error relativo más precisa será la medida.
Estudio de prefactibilidad	Breve investigación sobre el marco de factores que afectan a un proyecto virtualmente ejecutable.

Geoide	Forma teórica de la Tierra determinada por la geodesia.
IEMD	Instrumento electrónico para medición de distancias horizontales.
ISO	Organización Internacional de Normalización (International Organization for Standardization).
RIC	Registro de Información Catastral de Guatemala. Institución del Estado, autónoma y de servicio, competente en materia catastral.

RESUMEN

Bajo el marco teórico obtenido por la recolección de información bibliográfica para ambos levantamientos topográficos en estudio, se realizaron aplicaciones, cotejando lo suscrito por autores ajenos a la práctica topográfica nacional; algunos de estos, incluso en el caso de la taquimetría, de ya hace varios años, por la falta de estudios relevantes recientes; o bien, verificando la información correspondiente asignada por los fabricantes de las estaciones totales.

El estudio incluyó siete aplicaciones en las que se equipararon los métodos expuestos, no solamente con la información teórica recolectada de cada método, sino además comparando ambos métodos entre sí, por medio de parámetros que definieron la precisión, manejo, rapidez y aplicabilidad.

Por medio del análisis comparativo se determinaron las ventajas y desventajas concernientes para cada método y el mejor uso que se podría dar de estos, así como recomendaciones prácticas para realizar los levantamientos por cualquiera de los métodos.

OBJETIVOS

General

Proporcionar a estudiantes y profesionales que ejerzan en el campo de la topografía, directrices que les ayuden a la correcta ejecución de levantamientos topográficos por método taquimétrico y levantamientos, empleando estación total.

Específicos

1. Analizar el método taquimétrico a fin de exponer, determinar y evaluar cada uno de los factores y procedimientos que influyen en la utilización de este método de levantamiento topográfico.
2. Analizar los levantamientos con estación total a fin de exponer, determinar y evaluar cada uno de los factores y procedimientos que influyen en estos levantamientos topográficos.
3. Definir por medio del análisis comparativo entre método taquimétrico y levantamientos empleando estación total, las ventajas y desventajas en el uso de cualquiera de estos.
4. Recomendar con base en los resultados finales, la aplicación, uso y procedimientos más eficaces para los levantamientos en estudio.

INTRODUCCIÓN

La topografía es una rama de la ingeniería civil que se caracteriza por la constante búsqueda de precisión y rapidez en la realización de levantamientos. Con la implementación de métodos, la innovación y mejora de instrumentos de medición, no solamente se trata de ser precisos, sino veloces y eficientes; pero, ¿qué tan rápido se puede realizar un levantamiento sin comprometer la precisión?

En el campo topográfico, dos pueden ser las posibles elecciones de métodos al considerar levantamientos topográficos rápidos: la taquimetría y el uso de estación total por mediciones electrónicas. Por antecedentes preconcebidos se puede suponer que la estación total sería la mejor elección entre estas, sin embargo, aún hay mucho que decir del método taquimétrico, del cual poca información concluyente se logra encontrar en los actuales libros de topografía.

La decisión de realizar este estudio comparativo entre estas opciones, se tomó a fin de obtener un juicio analítico, olvidando las preconcepciones y suposiciones aligeradas; además, se busca beneficiar a estudiantes y profesionales que ejerzan la topografía, con material que pueda ayudarles en la realización de levantamientos, cualquiera que sea el método elegido para aplicarse.

De forma inicial se recapituló toda la información teórica concerniente a la topografía en general y a los métodos en estudio, con el fin de formar una base sobre la cual pudieran realizarse los procedimientos prácticos para el análisis.

Durante la parte práctica se tuvo control sobre los factores que pudiesen influir en los resultados de los levantamientos, se analizaron los errores y luego se compararon ambos métodos entre sí.

Las ventajas, desventajas, resultados de precisión y rapidez, fueron los factores finales que determinaron las conclusiones y recomendaciones finales del presente estudio, con lo cual, se pretende aportar conocimiento y al final, cada persona tomando en cuenta los resultados, pueda crear un criterio propio sobre la conveniencia y beneficio de la utilización de cada uno de los métodos expuestos.

1. GENERALIDADES DE TOPOGRAFÍA

Ante la disposición del estudio de métodos topográficos, se hace necesario realizar un repaso sobre la temática topográfica general, a fin de refrescar y recopilar la información básica para una efectiva interpretación de los análisis que, en capítulos consecuentes, se llevarán a cabo.

Este capítulo describe definiciones básicas sobre la topografía, el tipo de levantamientos o mediciones que pueden realizarse con esta, su importancia, y el marco teórico sobre los errores, equivocaciones y los posibles factores causantes de estos.

1.1. Topografía

De manera general puede definirse la topografía como la ciencia y el arte de detallar la superficie terrestre. Muchos autores le han dado los títulos de ciencia y arte a la topografía, ambos muy acertados, ya que puede referirse al uno y al otro a la vez. Es arte, porque es un conjunto de preceptos y reglas necesarias que con pericia, astucia, virtud, disposición y habilidad alcanzan su objetivo. También es ciencia, pues es el conjunto de conocimientos obtenidos mediante la observación y el razonamiento, sistemáticamente estructurados, deduciendo principios y leyes generales.

Todos los principios y procedimientos que tienen como fin representar formas y detalles de la superficie terrestre, sean naturales o artificiales, son parte del estudio que concierne a la topografía.

Con el tiempo se han considerado las limitaciones de la topografía, ya que estos no consideran la forma geoide de la Tierra, sino asumen esta como una superficie plana, consideración que solamente puede ser adecuada, para extensiones de área relativamente pequeñas.

Según la Ley Reglamentaria para Trabajos de Agrimensura (Decreto 1786), de Guatemala, en su artículo 15 inciso 1 cita: “Si el terreno pasa de 111,45 kilómetros cuadrados, se emplearán en la medida los métodos geodésicos”; aunque se ha determinado que los límites dentro de los cuales se puede prescindir la curvatura de la Tierra y asumir una superficie plana, corresponden a un círculo de 30 kilómetros de diámetro.

La topografía se fundamente en suposiciones que hacen abstracción de la curvatura de la Tierra, como:

- Una línea imaginaria trazada que une dos puntos sobre la superficie de la Tierra es una línea recta.
- Si dos o más plomadas son colocadas en diferentes puntos cualesquiera de la superficie de la Tierra, la dirección de estas es paralela entre sí.
- La superficie imaginaria que se utiliza como referencia, desde la cual se observa la altimetría y depresiones topográficas de un lugar, es una superficie plana.
- Los ángulos formados por dos líneas imaginarias trazadas sobre la superficie de la Tierra son ángulos planos.

Con las suposiciones citadas y en apoyo principalmente de la geometría y la trigonometría, la topografía cumple con su objetivo de representar y detallar la superficie terrestre.

1.2. Tipos de levantamientos

Un levantamiento topográfico es la operación o conjunto de operaciones técnicas, que consisten en medir directamente de un terreno su superficie y detalles, por medio de procedimientos puestos en práctica, cuyo fin es representarlo gráficamente en un plano.

Según el objetivo específico de uso, los levantamientos topográficos pueden clasificarse en los tipos que a continuación se definen.

1.2.1. Levantamientos catastrales

En Guatemala, la autoridad competente en materia catastral, es el Registro de Información Catastral (RIC), la cual es responsable de establecer, mantener y actualizar el catastro a nivel nacional.

Según la Ley del Registro de Información Catastral (Decreto 41-2005), de Guatemala, un levantamiento catastral se define de la siguiente manera: “Una de las fases técnicas del establecimiento catastral consiste en la obtención en campo de los datos físicos y descriptivos de los predios y de sus respectivos propietarios, poseedores o tenedores en determinado sector del territorio nacional.” El objetivo principal de este tipo de levantamientos es determinar límites y mojones de las áreas que están siendo levantadas, normalmente polígonos cerrados y es la agrimensura la encargada principal de este tipo de levantamientos.

1.2.2. Levantamientos de construcción

Todo tipo de construcción de ingeniería civil inicia, inevitablemente, con un levantamiento topográfico, el cual da las bases para elaborar los planos de la obra en cuestión. Luego de la planificación de la obra se procede a establecer todos los puntos necesarios para la construcción del proyecto en el terreno, procedimiento que se conoce con el nombre de replanteo y consiste en la materialización de los puntos topográficos por medio de estacado, que permite la prolongación de alineamientos y elevaciones.

Además del replanteo, la base topográfica es utilizada para la evaluación de costos y la elaboración de cuantificaciones de algunas actividades propias de la obra como: excavaciones, cortes, rellenos, nivelaciones, limpiezas y otros.

Los métodos empleados en los levantamientos de construcciones varían según la situación y la importancia que la obra amerita y es el topógrafo, por medio de su experiencia, quien define los métodos que utilizará a fin de obtener la información necesaria.

1.2.3. Levantamientos de obra terminada

El principal objetivo de los levantamientos de obra terminada es el documentar la ubicación final y exacta de los trabajos de ingeniería, registrando todo cambio de diseño que se hubiese efectuado durante la ejecución del proyecto en relación con el diseño original.

Estos levantamientos son de gran importancia como base de registro de la obra, sobre todo cuando se espera en un futuro ampliaciones, mantenimiento o reparaciones en la misma.

1.2.4. Levantamientos de vías de comunicación

La mejor forma de representar un terreno cuando se desea proyectar, replantar o construir una carretera, autopista, vía de ferrocarril, o cualquier otra obra lineal, es por medio de perfiles longitudinales y transversales. Un perfil de terreno es la sección de corte que en él produce un plano o cualquier superficie de generatrices verticales.

El levantamiento topográfico para la determinación de los perfiles requiere que los puntos del perfil y las distancias reducidas entre cada uno de ellos se representen lo más puntualmente posible sobre la figura del terreno; para que el levantamiento se considere correcto deben incluirse todos los puntos de intersección de la traza del perfil con accidentes naturales del terreno, cambios de pendiente, elementos singulares naturales o artificiales, cruces viales, canales y cualquier otro punto que se considere importante según el criterio del topógrafo.

1.2.5. Otros levantamientos de topografía

La diversidad de la superficie de la Tierra requiere de igual manera diversidad de tipos de levantamientos topográficos que puedan detallarla para fines que posiblemente no sean tan usuales como en los subtemas anteriores tratados, pero que son igual de importantes; se pueden mencionar:

- Levantamientos hidrográficos: definen los límites y profundidades de los cuerpos de agua, muchas veces asociados a proyectos portuarios.

- Levantamientos de minas: determinan los detalles de la superficie y abajo del nivel del terreno para servir de guía a los trabajos de excavación de túneles y otras operaciones asociadas con minería.
- Levantamientos industriales: conocidos también como levantamientos de alineamiento óptico, estos son usados para realizar medidas de alta precisión en procesos de manufactura, requiriendo tolerancias mínimas en la toma de medidas.

1.3. Mediciones topográficas

Tal como se definió, el levantamiento topográfico consiste en medir la superficie terrestre para luego darle representación sobre una superficie plana, es decir que un espacio tridimensional como la Tierra, representarlo sobre la superficie bidimensional de un plano; para ello se utiliza la geometría descriptiva y su sistema de planos acotados. Un sistema de planos acotados establece un medio de representación reversible en el que se puede resolver cualquier tipo de problemas del espacio.

En topografía únicamente un plano de referencia o de proyección se adopta y sobre este se proyectan los puntos de la superficie que se desea representar; a cada uno de los puntos se les define la altura en que se encuentran respecto del plano de referencia, siendo esta la cota del punto.

Toda medición es, por lo tanto, la búsqueda de la ubicación de los puntos que representan la superficie terrestre y sus detalles sobre un plano de referencia, para lo cual se miden sus coordenadas polares.

Las mediciones topográficas se pueden dividir en dos tipos básicos: aquellas medidas que ayudan a ubicar la posición de un punto en la superficie del plano de referencia y las que lo hacen sobre el mismo, es decir la planimetría y la altimetría.

1.3.1. Planimetría

Es la parte de la topografía que se ocupa del conjunto de procedimientos, que tienen como fin conseguir la representación de todos los detalles de interés de la superficie terrestre, prescindiendo de su relieve. Para la planimetría todos los puntos de la superficie terrestre son medidos y proyectados ortogonalmente sobre el mismo plano horizontal de referencia, es decir, un punto de la superficie terrestre puede ser ubicado sobre el plano horizontal de referencia por medio de coordenadas polares al medir el ángulo horizontal y la distancia.

- **Distancia:** los métodos e instrumentos utilizados para la medición de distancias varían según la necesidad e importancia y de la precisión requerida por el tipo de levantamiento; en algunos estudios de reconocimientos previos, trabajos geológicos, de agricultura o similares, donde la precisión no es importante, se pueden hacer conteos de pasos; por el contrario, en trabajos donde se requiere mayor precisión se emplean cintas de acero. En algunos casos también pueden utilizarse métodos indirectos para la toma de distancias.
- **Ángulos horizontales:** estos pueden ser medidos directamente con instrumentos como: brújulas, teodolitos, estación total o similares; también pueden ser determinados indirectamente por medio de razones trigonométricas como la ley de senos y cosenos.

1.3.2. Altimetría

La elevación de los puntos sobre el plano de referencia de la Tierra se llama cota o nivel, y a todo el conjunto de operaciones que se utilizan en topografía para determinar estas, se llama altimetría. La altimetría consiste principalmente en determinar la posición relativa en elevación de los puntos de la superficie terrestre, es decir, la nivelación.

Si dos o más puntos tienen la misma cota o elevación se dice que estos están a nivel y en caso contrario a desnivel. El objetivo principal de la altimetría es referir una serie de puntos a un mismo plano de comparación y lograr deducir los desniveles entre estos.

Los instrumentos utilizados para esto generalmente son el nivel y la estadia, aunque en algunos casos de poca precisión y para fines de verificación, puede utilizarse el nivel de mano.

Es común que en trabajos que abarcan grandes extensiones se utilice como plano de referencia el nivel del mar, mientras en otros trabajos donde no es necesario referenciar a nivel del mar se acostumbra nombrar un nivel de referencia aleatorio.

Se denomina banco de marca (BM) a un punto natural o artificial, que se utiliza como referencia y de este se conoce su nivel real respecto del nivel del mar, o bien se le asigna un nivel arbitrario, utilizando este como guía para la diferenciación de nivel de otra serie de puntos, teniendo el cuidado de siempre manejar cotas positivas, ya que esto facilita operaciones numéricas posteriores.

La medición de niveles puede ser realizada por varios métodos:

- Nivelación trigonométrica: se mide la distancia horizontal y el ángulo vertical que une dos puntos y con ayuda de razones trigonométricas se obtiene la diferencia de nivel entre ambos puntos.
- Nivelación barométrica: utiliza la presión atmosférica y el uso del barómetro para encontrar la diferencia de nivel entre dos o más puntos. Se acostumbra utilizar este método únicamente para exploraciones y reconocimientos de zonas debido a la variación de la presión atmosférica.
- Nivelación diferencial o geométrica: se miden las distancias verticales y elevaciones de forma directa, estableciendo puntos de control mediante el corrimiento de una cota, obteniendo el nivel de un punto determinado, partiendo de uno ya conocido.

Es importante mencionar que existen métodos o instrumentos en los cuales se trabaja tanto la planimetría como la altimetría de forma simultánea, tal es el caso de la taquimetría y la estación total.

1.4. Importancia de la topografía y los levantamientos topográficos

El desarrollo de la topografía trasciende desde tiempos antiguos, aun a los inicios de la civilización y la creación de la propiedad privada, la cual era necesaria medir y delimitar; con el tiempo la demanda de la topografía ha sido mayor y más exigente, los proyectos de ingeniería civil demandan topografía precisa y de resultados rápidos para elaborar proyectos como sistemas viales de tránsito, edificios, puentes, túneles, canales, obras de drenajes, sistemas de abastecimiento de agua potable, fraccionamientos terrestres, etc.

Para un desarrollo eficaz de la topografía, los levantamientos topográficos son los que hacen que la topografía cumpla su objetivo. Cada método topográfico utilizado es diferente uno del otro y aunque su objetivo es el mismo, puede que uno de estos coincida más con la necesidad específica de cierto proyecto; es por esto la importancia de conocer los métodos, instrumentos y cualquier factor que influya en los levantamientos.

1.5. Errores, equivocaciones y factores influyentes teóricos en levantamientos topográficos

El concepto de exactitud en topografía puede ser algo utópico, pues no es posible medir una magnitud física exacta de algo tan irregular como la superficie de la Tierra; por esa razón es importante tomar en cuenta y conocer los errores y equivocaciones para obtener buenos resultados de levantamientos topográficos al minimizar la influencia negativa de estos sobre los levantamientos.

Las equivocaciones son producidas por una mala práctica en la ejecución de una medida, y son estas las que pueden llegar a afectar de manera más manifiesta un levantamiento; sin embargo estas pueden evitarse por medio de la comprobación y de un mayor cuidado en el levantamiento.

Por otro lado, los errores son el producto de varios factores que influyen en los levantamientos topográficos, y estos pueden clasificarse en dos tipos:

- Errores sistemáticos: estos permanecen constantes (en magnitud y signo) en condiciones de trabajo fijas y por lo tanto son acumulativas. Las causas de estos errores son conocidas y por lo tanto corregibles.

- Errores accidentales: son errores que debidos a la complejidad de la causa de estos, es difícil determinarlos; es necesario el uso de estadística para, por medio de un muestreo, calcular la media y desviación de la muestra, obtener una distribución normal y así marcar un rango de confianza en la medición.

En la práctica y ejecución de levantamientos topográficos se encuentra una gran cantidad de factores que influyen en la efectividad de la medición y pueden ser causa de errores; entre los más importantes y comunes están:

- Temperatura: los cambios de temperatura producen deformaciones en los materiales con los que son fabricados algunos de los instrumentos de medición, dilatándolos por el calor y contrayéndolos con el frío.
- Instrumentos: la mala calibración o el desgaste de los instrumentos de medición son factores que deben considerarse.
- Operador: es uno de los factores más importantes a considerar y el que por falta de cuidado o habilidad puede cometer equivocaciones y errores accidentales.
- Refracción atmosférica: este fenómeno se presenta cuando los rayos de luz se doblan ligeramente hacia abajo, lo que causa una disminución de la curvatura terrestre en un 14 %. Este factor influye principalmente en trabajos de nivelación.
- Otros factores ambientales o de entorno: el viento, la humedad, el polvo, vibraciones producidas por otros equipos mecánicos e incluso el ruido pueden afectar.

2. TAQUIMETRÍA

Como parte del marco teórico referencial, se expone la información sobre taquimetría en el presente capítulo, para la correcta interpretación de los subsiguientes, abarcando las generalidades de este método, las aplicaciones y los procedimientos específicos de su uso, tanto en campo como en gabinete.

2.1. Reseña histórica de la taquimetría

Para la topografía en general el siglo XVIII significó grandes avances en el desarrollo de técnicas e instrumentos topográficos y además el inicio de la taquimetría. William Green, jefe de ingenieros del ejército del Reino Unido en 1779, utilizó un sistema óptico con hilos horizontales para medir distancias horizontales de forma indirecta, estableciendo así los principios de la taquimetría.

Muchos científicos, astrónomos y fabricantes estuvieron involucrados en el desarrollo de los instrumentos que se fueron adaptando a la topografía, sin embargo el honor de ser uno de los principales precursores de los procedimientos taquimétricos se le acredita al ingeniero, óptico, técnico en topografía y oficial de artillería de la Academia Militar de Torino, Ignazio Pietro Porro, nacido en Pinerolo, Italia, que en 1839 construyó un aparato topográfico al que denominó “taquímetro” y acuñó el término “taquimetría” en sus escritos.

En 1855 el ingeniero Isidoro Moinot aplicó el método descrito por Pietro Porro en un levantamiento para el estudio del proyecto del ferrocarril entre Génova y Niza, lo cual incidió en la divulgación del método.

Luego de Moinot, hubo muchos personajes que mejoraron los instrumentos hasta el momento utilizados, como el caso del taquímetro autorreductor de Hammer-Fennel y otros instrumentos que fueron utilizados con el mismo principio de medición de distancias y niveles de forma indirecta.

2.2. Generalidades de taquimetría

La palabra taquimetría proviene etimológicamente del griego “ταχύς” (rápido) y “μέτρον” (medida), literalmente “medida rápida”, de lo cual se puede deducir que se refiere a la toma de medidas rápidas. En otras regiones o países puede conocerse con nombres como celerimensura, método de estadia o estadimetría.

En palabras de Wolf & Brinker (1997) en su libro sobre Topografía, la taquimetría es: “un procedimiento rápido y eficiente para medir distancias y diferencias de nivel indirectamente”. Jordan (1961) en el tomo II del Tratado General de Topografía cita: “La taquimetría fija la posición de un punto en el terreno por coordenadas polares y da al mismo tiempo la altura de aquél, es decir, hace simultáneos los levantamientos planimétrico y altimétrico del terreno.”

La taquimetría es, entonces, un procedimiento de mediciones simultáneas e indirectas de planimetría y altimetría con el cual se alcanza mayor rapidez en levantamientos topográficos.

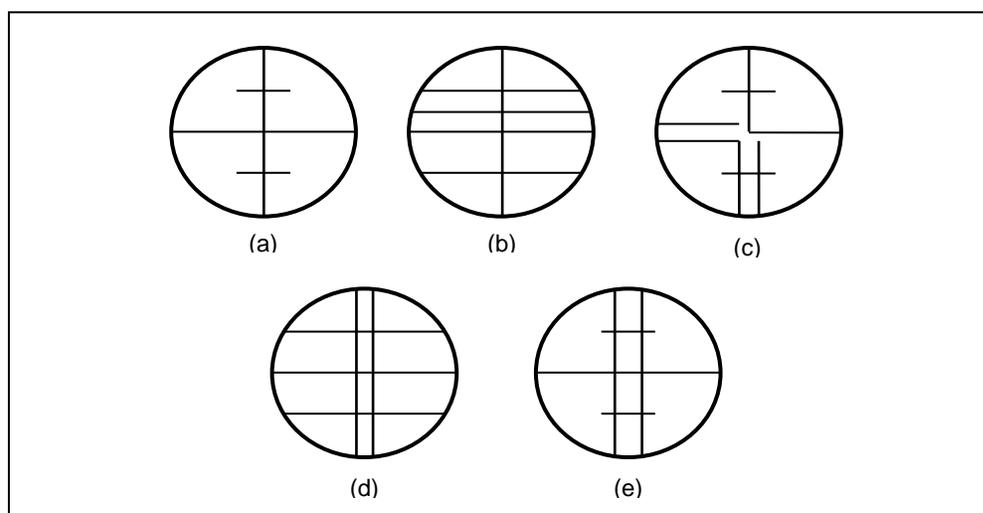
Algunos autores recomiendan el uso de taquimetría para levantamientos en los cuales no se requiere gran precisión, para la localización de detalles, nivelaciones trigonométricas de bajo orden y para realizar comprobaciones de levantamientos realizados por métodos de precisión superior.

Aunque se ha considerado desfavorable la precisión del método taquimétrico en comparación con medidas de cinta métrica, este método se adapta de mejor manera cuando es necesario tomar medida en terrenos escarpados, quebradizos o con obstáculos que dificultan la medición por cinta métrica.

2.3. Instrumentos empleados en levantamientos taquimétricos

Esencialmente se requiere de instrumentos de medición mecánico-ópticos como tránsitos, niveles o teodolitos, equipados en su retícula con hilos taquimétricos o estadimétricos, también conocidos como diagrama de estadia, que consiste principalmente en hilos paralelos al horizontal del lente, situado uno por encima y el otro por debajo de él, a una misma distancia. En la figura 1 se observan distintos tipos de retícula que pueden encontrarse en diferentes instrumentos ópticos.

Figura 1. Esquemas de retícula para instrumentos ópticos

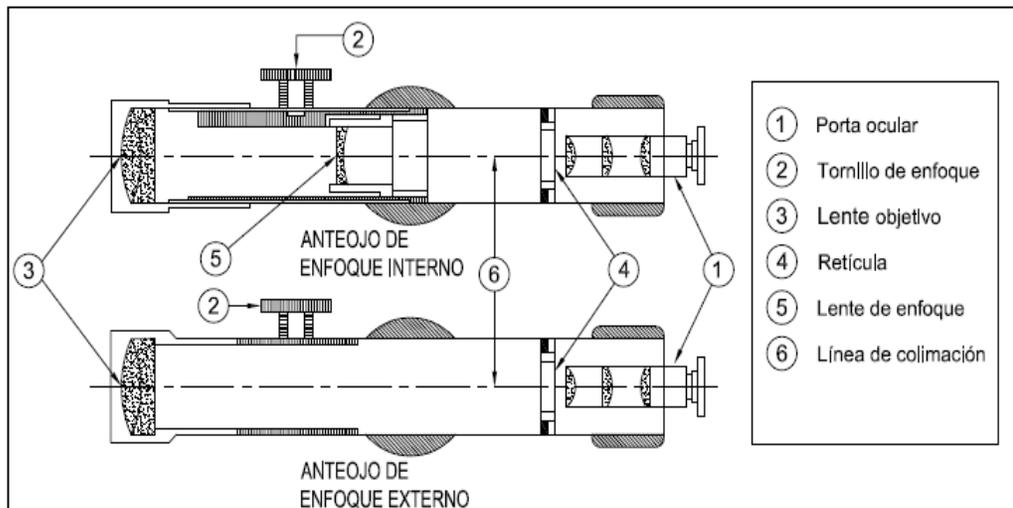


Fuente: elaboración propia.

En la mayoría de instrumentos el intervalo que aparece entre los dos hilos taquimétricos es precisamente $1/100$ de la distancia al estadal, así en un estadal colocado verticalmente a 100,00 metros de distancia y con la visual del lente horizontal, la medida leída entre los hilos sería de 1,00 metro.

Es importante exponer que los instrumentos ópticos topográficos de uso actual cuentan en su telescopio un mecanismo de anteojo de enfoque interno, a diferencia de los instrumentos antiguos que utilizaban anteojos de enfoque externo. De esta diferencia en el mecanismo de enfoque depende la deducción de los principios taquimétricos que se mencionan en el siguiente subtema.

Figura 2. **Anteojos de enfoque interno y externo**



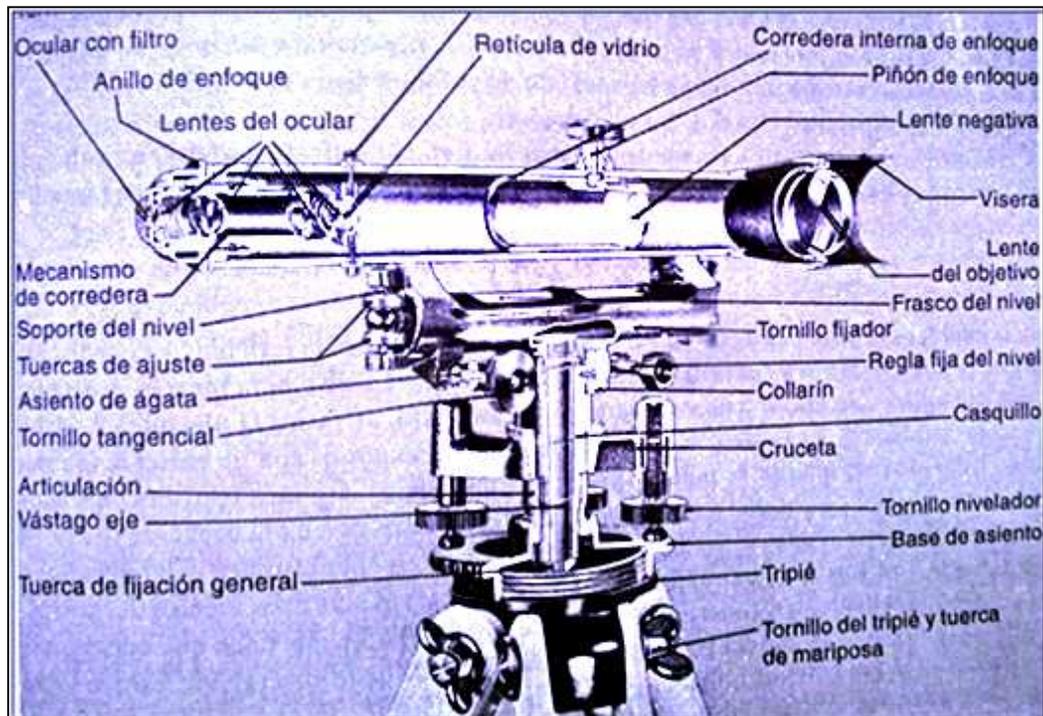
Fuente: TORRES NIETO, Álvaro. *Topografía*. p. 54.

Como se observa en la figura 2, la diferencia entre los anteojos de enfoque externo y los de enfoque interno, principalmente se encuentra, obviamente, en el mecanismo de enfoque; mientras en los anteojos de enfoque externo se enfoca al movilizar el lente objetivo; en los anteojos de enfoque

interno el lente objetivo permanece fijo, mientras un lente interno, llamado lente de enfoque, realiza la acción de enfocar.

En la figura 3 se observa un esquema más elaborado de un telescopio de nivel fijo con mecanismo de antejo de enfoque interno, representativo para describir el funcionamiento en la mayoría de instrumentos ópticos topográficos de uso actual.

Figura 3. Telescopio de antejo de enfoque interno



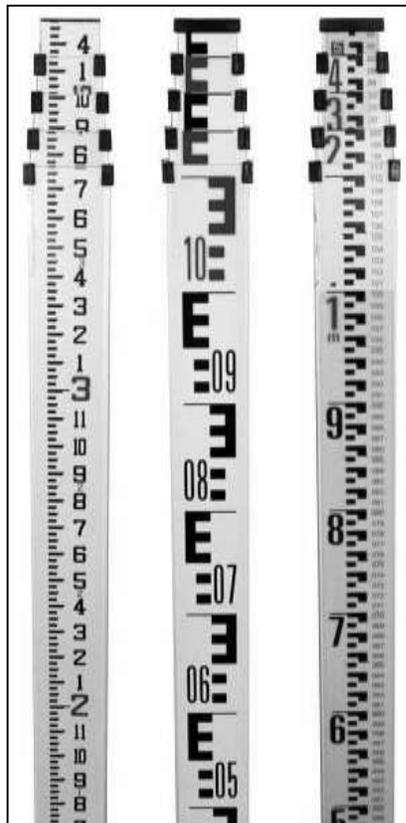
Fuente: BRINKER C., Russell. *Topografía*. p. 135.

Además de los instrumentos mecánicos-ópticos se utilizan los estadales o miras; estos son reglas, generalmente fabricadas en madera, aluminio o fibra de vidrio, graduadas en sistema métrico (metros) o sistema inglés (pies).

En nuestro medio las miras graduadas en metros son las más utilizadas; pueden ser plegadizas, de una pieza o seccionales, con longitudes desde 3,00 o 3,50 metros hasta 7,00 metros.

La graduación de los estadales puede variar en milímetros o centímetros, utilizando la graduación más fina para distancias cortas y la otra para distancias largas. Los marcajes de estos deben ser notorios para facilitar la lectura a largas distancias, y algunos cuentan con diferentes colores que ayudan a distinguir los números y las graduaciones. En la figura 4 se muestran algunos de los modelos más utilizados de estadales.

Figura 4. **Diferentes tipos de estadales o miras**

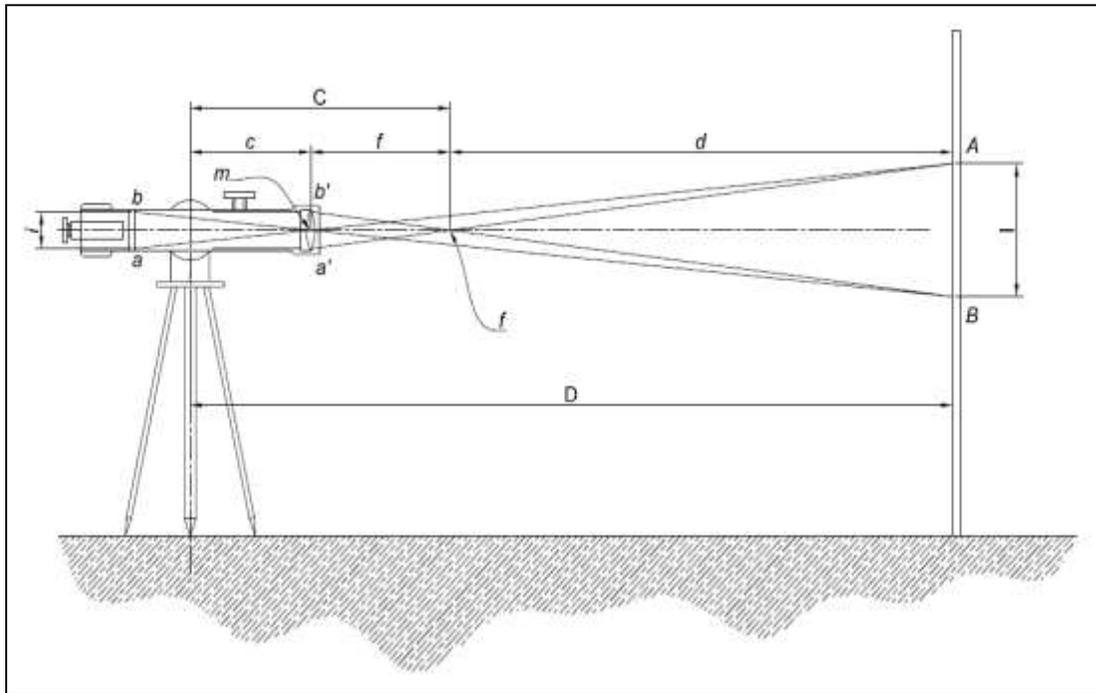


Fuente: <http://is.gd/ONa8H8>. Consulta: 4 de enero de 2013.

2.4. Principios de la taquimetría

Tomando como base un telescopio de enfoque externo simplificado, gracias a la sencillez con la que se puede representar gráficamente, se permite una excelente interpretación de las relaciones geométricas necesarias para la deducción de los principios taquimétricos, tal como se muestra en la figura 5, en un esquema del funcionamiento de este telescopio.

Figura 5. Principios taquimétricos de visual horizontal



Fuente: BRINKER C., Russell. *Topografía*. p. 322.

Como ya se mencionó, uno de los objetivos de la taquimetría es obtener las distancias horizontales entre dos puntos; en la figura anterior se representa con la letra D.

En el caso donde la visual del telescopio hacia el estadal se encuentre totalmente horizontal, como en el de la figura 5, se denomina taquimetría simple y los factores geométricos que influyen para la determinación de la distancia horizontal son:

- $i = \overline{ab} = \overline{a'b'}$ = separación de los hilos de estadia en la retícula
- m = centro de la lente objetivo
- f = distancia focal; la determinada entre el centro de la lente objetivo y el punto focal
- $l = \overline{AB}$ = lectura de estadia.
- c = distancia entre el centro del instrumento y el centro de la lente objetivo
- $C = c + f$ = constante menor o de estadia
- d = distancia entre el punto focal situado frente al anteojo y la cara del estadal
- $D = C + d$ = distancia del centro del instrumento a la cara del estadal

El principio de triángulos semejantes menciona que dos triángulos son semejantes entre sí si los lados correspondientes entre ellos son proporcionales y los ángulos correspondientes son iguales; entonces en la figura 5 puede decirse que los triángulos formados por las proyecciones imaginarias que pasan por el punto focal, AfB y $a'fb'$, son semejantes entre sí, por lo cual se obtiene la siguiente relación geométrica:

$$\frac{d}{f} = \frac{l}{i} ; d = \frac{f}{i} l \quad (2.1)$$

A la relación f / i se le conoce como constante mayor de estadia o factor de lectura, representada con la letra K , la cual es proporcionada por el

fabricante del instrumento óptico; aunque en la mayoría de los instrumentos de uso actual se usa un factor de lectura estándar de $K = 100$.

La ecuación 2.1 entonces se reduciría a:

$$d = Kl \quad (2.2)$$

Sin embargo, la distancia que interesa obtener es la del centro del instrumento a la cara del estadal, es decir:

$$D = Kl + C \quad (2.3)$$

La ecuación 2.3 es entonces la utilizada para determinar la distancia horizontal entre dos puntos cuando se trabaja con instrumentos que tienen un mecanismo de anteojo con enfoque externo; sin embargo, como se había mencionado anteriormente, la mayoría de instrumentos de uso actual utilizan anteojo de enfoque interno, lo cual deriva en una reducción de la constante menor de estadia, tanto que se hace insignificante en los cálculos de distancias horizontales, dando como resultado la siguiente ecuación:

$$D = Kl \quad (2.4)$$

Aun cuando el fabricante especifique un factor de lectura $K = 100$ dentro de las características del instrumento, es recomendable verificarlo la primera vez que se utiliza; esto se realiza al tomar una lectura de estadia, con la visual del lente horizontal, a una distancia conocida, despejando el factor K de la ecuación 2.4. Para mejorar la exactitud de esta verificación, pueden tomarse varias lecturas de estadia a diferentes distancias y hacer un promedio de los valores que se obtengan de K por cada medición.

Suponiendo una situación en la que un instrumento es colocado en una estación M , visualizando hacia una estación O en la que se coloca un estadal a plomo, se enfoca el hilo central de la retícula del instrumento sobre un punto R en el estadal, siendo L la distancia inclinada entre ambas estaciones, H la distancia horizontal y V la diferencia de nivel; entonces, por geometría y trigonometría se puede deducir:

$$H = L \cdot \cos(\alpha) \quad (2.5)$$

$$V = L \cdot \text{sen}(\alpha) \quad (2.6)$$

Si sobre el ejemplo teórico de la figura 6, se supone colocar sobre el estadal, pero esta vez logrando una proyección normal a la visual del telescopio, se tomaría entonces una lectura de hilos I' , la cual ayudaría a comprender la siguiente deducción:

$$L = K \cdot I' \quad (2.7a)$$

$$I' = I \cdot \cos(\alpha) \quad (2.7b)$$

$$\therefore L = K \cdot I \cdot \cos(\alpha) \quad (2.7c)$$

Utilizando la expresión deducida en la ecuación 2.7c y sustituyendo en la ecuación 2.5, se puede conocer la distancia horizontal para medidas taquimétricas con visual inclinada, obteniendo:

$$H = K \cdot I \cdot \cos^2(\alpha) \quad (2.8)$$

En la mayoría de instrumentos topográficos se leen ángulos cenitales z , por lo que la ecuación para la distancia horizontal sería:

$$H = K \cdot I \cdot \text{sen}^2(z) \quad (2.9)$$

Para obtener la diferencia de nivel entre ambos puntos, se deduce de forma similar, se sustituye la ecuación 2.7c en la ecuación 2.6, obteniendo:

$$V = K \cdot I \cdot \text{sen}(\alpha) \cos(\alpha) \quad (2.10a)$$

Con ángulos cenitales:

$$V = K \cdot I \cdot \text{sen}(z) \cos(z) \quad (2.10b)$$

La expresión 2.10b se puede simplificar por medio de una identidad trigonométrica, reduciéndola a la expresión:

$$V = (1/2)K \cdot I \cdot \text{sen}(2z) \quad (2.11)$$

Las ecuaciones 2.9 y 2.11 son las expresiones generales para determinar las distancias horizontales y diferencias de nivel, respectivamente, por medio del método taquimétrico. Para el cálculo de cotas de nivel se utiliza la expresión deducida gráficamente de la figura 6, según el libro Topografía de Wolf & Brinker (1997):

$$cota_o - cota_m = hi + V - R \quad (2.12)$$

2.5. Procedimientos teóricos y prácticos para levantamientos taquimétricos

A continuación se describen los diversos procedimientos utilizados, tales como registros de campo, levantamientos taquimétricos y trabajos de gabinete.

2.5.1. Registros de campo

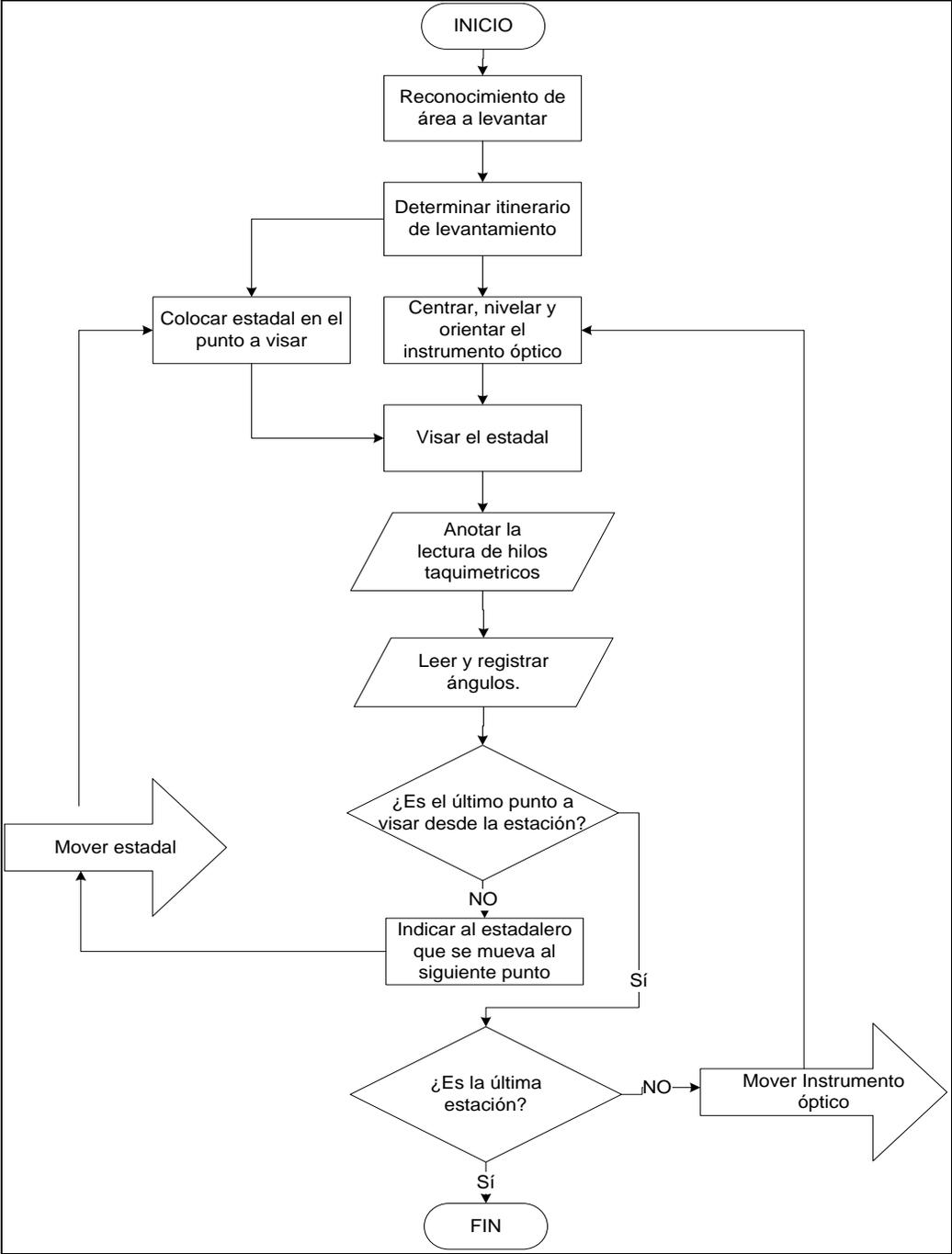
Un buen procedimiento y registro de campo refleja buenos resultados en todo trabajo topográfico, además de influir directamente en el tiempo utilizado para el levantamiento y en la reducción de incidencia a equivocaciones. Aunque el uso de método taquimétrico es recomendado para ciertos tipos de levantamientos, este puede ser adaptado con un procedimiento general para su aplicación.

En la figura 7 se muestra un diagrama de flujo de proceso, con una secuencia lógica y ordenada para el desarrollo y registro de campo general, para levantamientos taquimétricos.

La primera acción sugerida en el diagrama de la figura 7 es muy importante; el reconocimiento de área a levantar busca obtener una idea general de lo que el trabajo implicará, se toman anotaciones importantes, se realizan croquis y cualquier observación que ayude a la realización del itinerario de levantamiento. El itinerario es un esquema de procedimiento y orden, no tan rígido sino flexible, que pueda adaptarse a cualquier dificultad e imprevisto que se encuentre al realizar el trabajo de medición.

En terrenos llanos y de gran extensión puede suceder que los puntos a visar desde la estación se encuentren muy separados entre sí y para ofrecer rapidez en el trabajo puede emplearse más de un estadalero; esto ayuda al ahorro de tiempo en la visualización de los puntos, disminuyendo la fatiga en la persona que maneja el estadal. Es importante recordar que en el levantamiento de poligonales es necesario que el recorrido de este se realice a favor de las agujas del reloj, favoreciendo la lectura de ángulos.

Figura 7. Procedimiento de campo para levantamientos taquimétricos



Fuente: elaboración propia.

Cuando se anotan las lecturas de hilos taquimétricos, se recomienda lo siguiente:

- De ser posible visar los hilos taquimétricos con el telescopio del instrumento a un ángulo cenital de 90° ;
- Si la configuración del terreno es escarpada y no permite visuales con ángulo cenital de 90° , visar el hilo medio a una altura igual o lo más aproximada posible a la altura del instrumento;
- En la medida que se pueda, realizar visuales sobre el estadal en marcas de unidades enteras o en sus divisiones gráficas mínimas;
- Siempre deben anotarse los tres hilos taquimétricos (hilo superior, medio e inferior), además de visar uno de estos a una lectura con número entero marcado sobre el estadal, sea el hilo medio o el inferior, según la preferencia de quien efectúa el levantamiento.
- Comprobar que la diferencia del hilo superior y el hilo medio sean igual a la diferencia entre el hilo medio y el superior, y que estas a su vez sean igual a la mitad de la lectura de estadia; esto sirve para verificar la precisión de la lectura de hilos y si esto no se cumpliera debe realizarse nuevamente la toma de datos;
- Todos los datos que puedan ser tomados deben anotarse y si se considera necesario deben realizarse varias veces las lecturas antes de tomar nota de ellas o anotar todas las lecturas efectuadas para realizar promedios de estas.

Tabla I. Formato para registro de levantamientos taquimétricos

EST.	P.O.	hi	Elev. de estación	HILOS TAQUIMÉTRICOS			ÁNGULO VERTICAL	ÁNGULO HORIZONTAL	OBSERVACIONES							
				HILO INF.	HILO MEDIO	HILO SUP.										
				A	1	1,52				100,00	1,22	1,50	1,78	90°02'25"	23°10'05"	Borde de banqueta

Fuente: elaboración propia.

En la tabla I se muestra un formato que puede manejarse para el registro de campo en levantamientos taquimétricos. La primera fila de datos es un ejemplo de la forma en que deben ser anotados.

Los registros de campo en trabajos taquimétricos son generalmente manuscritos y debe procurarse que sean inteligibles para cualquier persona. En el libro Topografía de Wolf & Brinker (1997) se hace referencia a cinco puntos básicos que deben tomarse en cuenta en el buen registro manuscrito de campo:

- Exactitud: si bien es un concepto utópico, debe procurarse con cuidado al momento de tomar lecturas y transcribirlas a la libreta o formato de registro.
- Integridad: la relación de todas las medidas entre sí se enlazan para formar un levantamiento completo; la falta de un dato, lectura o un registro no claro, afectan irremediablemente todo un levantamiento.
- Legibilidad: un registro legible no da lugar a confusiones y mala interpretación de datos; además ofrece una buena referencia a la persona que lo realizó.
- Adecuación: la toma de registros puede variar de un levantamiento a otro, la forma de adecuar el registro a un levantamiento en particular, refuerza los tres primeros puntos.
- Claridad: el registro de campo es el puente entre el levantamiento y la elaboración del trabajo de oficina; un registro claro es un buen puente y facilita el trabajo de oficina.

Además de la tabulación de datos, es necesario realizar croquis y observaciones importantes durante el levantamiento; las fotografías también pueden ser de gran ayuda en algunas ocasiones.

Se deben anotar el lugar o nombre del proyecto, fecha y hora de inicio de los trabajos; si el levantamiento requiere más de un día de trabajo debe procurarse no dejar medida pendiente desde una estación, para, al reanudar los trabajos el día siguiente, puedan empezarse de una estación nueva. Las condiciones atmosféricas, principalmente la temperatura, el nombre de las personas que participaron en el levantamiento y sus cargos, el tipo y modelo de instrumento que se utilizó; todos estos son datos importantes y debe dejarse registro de ellos.

Es importante mencionar que aun cuando el diagrama de la figura 7 muestra un esquema general de pasos a seguir para realizar un levantamiento ordenado, depende muchas veces de la pericia de quien realiza la actividad, que el levantamiento fluya con mayor rapidez y precisión.

2.5.2. Procedimiento de gabinete

Los trabajos realizados en oficina o llamados de gabinete, consisten principalmente en la interpretación de los datos y registros tomados en campo durante el levantamiento topográfico y el planteamiento de estos en un producto final que puede ser un dibujo de planta, perfil, curvas de nivel, secciones o los informes necesarios para lo que son requeridos.

Con el uso de la computadora, los trabajos de cálculo en gabinete para levantamientos taquimétricos pueden reducirse y facilitarse considerablemente por medio de una hoja de cálculo electrónica.

Para elaborar una hoja de cálculo electrónica puede utilizarse el paquete de software de Microsoft Excel, aplicando las ecuaciones 2.9, 2.11 y 2.12 para la determinación de distancias horizontales, diferencias de nivel y elevaciones.

El siguiente es un ejemplo de tantas maneras en las que puede elaborarse una hoja electrónica de cálculo; depende de las necesidades, criterios y preferencias de cada persona el poder elaborarla a la manera que más le convenga y desarrollarla a criterio propio. En un archivo nuevo de Microsoft Excel se realiza una tabla similar a la indicada en la tabla I, esta se llena con los datos obtenidos en campo y las columnas necesarias para los resultados del cálculo de distancias horizontales diferencias de nivel y niveles. La figura 8 muestra la tabla base como debería verse en Excel:

Figura 8. **Elaboración de tabla para digitalización de datos**

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Est.	P.O.	Altura de Instrumento en Estación	Elevación de la Estación	Hilos Taquimétricos			Lectura de Estadia	Ángulo Horizontal		
2					Inferior	Medio	Superior		grados	min	seg
3	A	1	1.52	100	1.22	1.5	1.78	0.56	23	10	5
4											
5											
6											
7											
8											

(a)

Continuación de la figura 8.

Ang. Horizontal (Radianes)	Ángulo Vertical			Ang. Vertical (Radianes)	Distancia Horizontal	Diferencia de Nivel	Elevación
	grados	min	seg				
0.404358851	90	2	25	1.571499307	55.9999723	-0.03936686	99.9806331

(b)

Fuente: elaboración propia.

Los ángulos que se obtienen en campo son en notación sexagesimal; la razón de utilizar una columna para transferirlos a radianes, es debido a que las fórmulas utilizadas en los cálculos por medio de la hoja electrónica requieren que el ángulo sea expresado en radianes.

Todas las columnas que coinciden con la de la tabla I deben rellenarse con los datos obtenidos en campo con el cuidado de transcribir la información tal cual es, sin alterar los datos y evitando equivocaciones. Las columnas que no están integradas dentro de los datos de campo, sino que deben ser calculadas, son obtenidas a través de la fórmula correspondiente para llegar al resultado deseado. En la siguiente tabla se muestra el modo de sintaxis de la fórmula para obtener los factores que se necesitan en los cálculos taquimétricos.

Tabla II. **Fórmulas para obtención de factores taquimétricos en Excel**

Factor	Sintaxis de fórmula	Descripción
Lectura de estadía. (columna H)	=G3-E3	Devuelve como valor la diferencia entre los hilo superior e inferior, es decir la lectura de estadía; unidades en metros si la lectura es en metros.
Ángulo horizontal de sexagesimales a radianes. (columna L)	=RADIANES(I3+(J3/60)+(K3/3600))	El valor interno a la función "RADIANES" es el ángulo sexagesimal en notación decimal, la función convierte esta en radianes.
Ángulo vertical de sexagesimales a radianes. (columna P)	=RADIANES(M3+(N3/60)+(O3/3600))	El valor interno a la función "RADIANES" es el ángulo sexagesimal en notación decimal; la función convierte esta en radianes.
Distancia horizontal (columna Q) ecuación 2.9	=100*H3*(SENO(P3))^2	Devuelve como valor la distancia horizontal entre la estación y el punto observado. El valor 100 es supuesto de la constante mayor de estadía, K.
Diferencia de nivel (columna R) ecuación 2.11	=0.5*100*H3*SENO(2*(P3))	Devuelve como valor la diferencia de nivel entre la estación y el punto observado. El valor 100 es supuesto de la constante mayor de estadía, K.
Elevación (columna S) ecuación 2.12	=D3+C3+R3-F3	Devuelve el valor de elevación del punto en cuestión, en referencia a la elevación de la estación, generalmente conocida, asumida o tomada de una red geodésica.

Fuente: elaboración propia.

Las columnas y celdas mencionadas en la tabla II hacen referencia a las mostradas en la figura 8. La fila 3 sería la primera que compone la libreta de campo, y las fórmulas se copiarían subsiguientemente por debajo y gracias a las propiedades de Excel; solamente con llenar el resto de datos obtenidos en campo se estarían completando automáticamente. Como se puede observar en la figura 8, se utilizaron los datos de los ejemplos mostrados en la tabla I, con el propósito de que pueda comprobarse el funcionamiento del procedimiento sugerido.

Al igual que los procedimientos y registros de campo, los trabajos de oficina o gabinete requieren experiencia y destreza para adaptar un procedimiento general a un levantamiento en particular, que como ya se ha mencionado antes, cada levantamiento es diferente uno de otro.

2.6. Precisión teórica y posibles causas de error

En el libro de Topografía de Wolf & Brinker (1997) se menciona que: “es posible en taquimetría tener una relación de error de 1/300 a 1/500, en el caso de una poligonal trazada con teodolito y estadia, con el cuidado normal y efectuando lecturas hacia adelante y hacia atrás.”

Es necesario explicar que las lecturas hacia adelante y hacia atrás son una práctica utilizada para la nivelación; consisten en una lectura dirigida desde una estación a un estadal colocado sobre un punto de elevación conocido o supuesto (lectura hacia atrás) y luego una lectura a un estadal colocado sobre un punto al cual se desea determinar su elevación (lectura hacia adelante). Esta práctica de lecturas es la más común y utilizada en trabajos de taquimetría.

Por otro lado, el Tratado de Topografía en su tomo II de W. Jordan (1961), menciona que una distancia medida con el método taquimétrico puede llegar a tomarse con un 0,05 % de aproximación, si se tiene sumo cuidado en las operaciones de levantamiento.

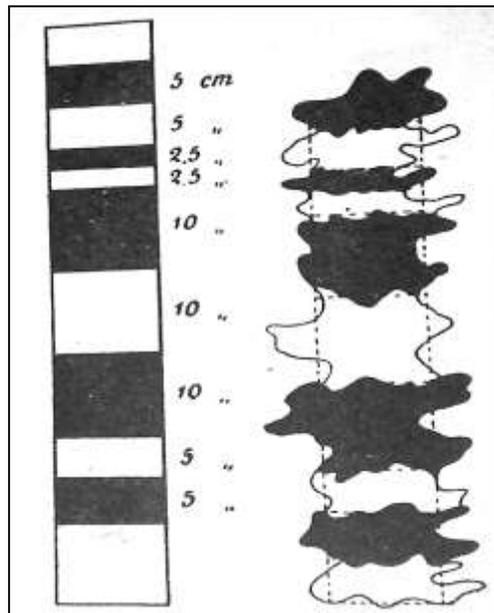
En levantamientos taquimétricos ordinarios, en los que se trabaja con un cuidado, si bien no altísimo pero sí considerable, el ingeniero Jordan (1961) menciona que puede obtenerse una precisión media de 0,25 %. En los ensayos realizados para obtener este resultado, se menciona que las visuales fueron casi horizontales y las distancias alrededor de los 100 metros; se indica además, que la precisión disminuye para distancias mayores y gran inclinación en la visual.

La precisión a veces es afectada por efectos atmosféricos: el ambiente, clima, temperatura y otros factores similares influyen el desarrollo de un buen procedimiento taquimétrico. Un ejemplo se da cuando en días despejados y con la mayor intensidad de sol se sufre de un efecto conocido como aire caliginoso.

El aire caliginoso es un fenómeno en el que se da la sensación de un aire denso o espeso en el que se dificulta la visibilidad. Este efecto es causado por la condensación del aire, se da especialmente cuando la diferencia de temperatura entre el aire y el suelo es mayor, condición que ocurre frecuentemente en verano, causando que los rayos luminosos próximos al suelo oscilen y causen una visión borrosa.

Puede observarse cómo en la figura 9, se esquematiza la diferencia de visual al estadal en condiciones favorables (izquierda) y en condiciones con aire caliginoso (derecha).

Figura 9. Efecto de aire caliginoso o denso



Fuente: JORDAN, Wilhelm. *Tratado de topografía*. Vol II. p. 254.

Los errores que se tienen en taquimetría generalmente son ocasionados por las lecturas deficientes de estadia más que por lecturas incorrectas de ángulos; entre los errores y equivocaciones más probables en trabajos taquimétricos se encuentran:

- Separación incorrecta de los hilos de estadia
- Error de índice en los ángulos verticales o cenitales
- El estadia no se sostiene a plomo
- Lecturas de estadia incorrectas a causa de visuales muy largas
- Nivelación deficiente para la lectura de los ángulos verticales
- Equivocación al leer mal o confundir una lectura de los hilos taquimétricos
- Uso de un factor de estadia incorrecto; recordar que es necesario corroborar este cuando es primera vez que se utiliza un aparato.

3. LEVANTAMIENTOS CON ESTACIÓN TOTAL

Como parte del marco teórico referencial, se expone la información sobre levantamientos con estación total, con el propósito de establecer bases teóricas para la correcta interpretación de los capítulos prácticos y de aplicaciones subsiguientes, abarcando en el presente capítulo las generalidades y características de este método y la estación total, las aplicaciones y procedimientos específicos de su uso, tanto en campo como en gabinete.

3.1. Características de los instrumentos de estación total

Aun cuando existe diversidad de modelos de estaciones totales, cada una con especificaciones propias, todas tienen tres componentes básicos en común: un teodolito electrónico digital, un microprocesador y un instrumento electrónico para medición de distancias (IEMD).

- Un teodolito electrónico digital difiere de uno “convencional” en que la lectura de ángulos no se realiza manualmente por medios ópticos, sino que se leen directamente en una pantalla digital.
- El microprocesador de una estación total es más bien lo que en informática se conoce como un sistema embebido, diseñado especialmente para realizar cálculos y funciones específicas de topografía.

- Los IEMD determinan la distancia por medio de la propagación de ondas electromagnéticas, midiendo el tiempo que toman para llegar y regresar de un punto a otro, generalmente con el uso de prismas reflectores.

Los elementos mencionados se integran en un solo instrumento, para formar una de las herramientas más eficaces y rápidas en el campo topográfico, la estación total, un ejemplo de estas es la mostrada en la figura 10.

Figura 10. **Estación total**



Fuente: <http://is.gd/4Celc3>. Consulta: 29 de enero 2013.

3.1.1. Tipos de estación total

Cada estación total, según su marca y modelo, difiere en más de una de sus características en comparación con otra; esto hace que exista una amplia variedad de tipos. Las características varían de una estación total a otra dependiendo de las especificaciones desarrolladas por el fabricante, enfocadas a una necesidad determinada, facilidad de uso, precisión, rapidez u otros factores. Entre estas características generales se pueden mencionar:

- Telescopio: aun cuando este no difiere mucho de un teodolito, es importante mencionar las características básicas de este. El aumento en los anteojos del telescopio en una estación total puede variar entre 20x y 30x; el enfoque mínimo oscila entre 1,00 m y 1,70 m; la mayoría de telescopios cuentan con un lente cuyo campo de visión se encuentra alrededor de 1°30'.
- Niveles y plomada: en una estación total los niveles electrónicos suelen ser más comunes que los tubulares, no obstante hay modelos que cuentan con ambos sistemas para nivelar la estación total, y el nivel circular de burbuja siempre es utilizado. En cuanto a la plomada puede ser óptica o tipo láser.
- Memoria: la memoria de una estación total puede ser interna o removible. Una estación total en su memoria interna es capaz de almacenar alrededor de 9000 puntos de medición por cada megabyte de memoria, habiendo estaciones con memorias internas desde 512 kB hasta 86 MB de capacidad o aún mayores; otras utilizan dispositivos de almacenamiento de datos extraíbles como tarjetas *SD*, con las que el manejo de datos puede ser mayor.

- **Recolección de datos:** la información recolectada puede ser enviada de forma bidireccional, es decir, de memoria a computador o viceversa. También puede utilizarse un elemento extra que son los denominados recolectores de datos, aunque son más utilizados en levantamientos de gran extensión por la cantidad de datos que se manejan.
- **Batería y alimentación:** básicamente las baterías para estación total pueden ser de tres tipos: de ion de litio (Li-ion), de níquel e hidruro metálico (Ni-Mh), o de níquel cadmio (NiCd); aunque estas últimas son cada vez menos utilizadas. La autonomía de la batería depende de su tipo, del trabajo que se le exija o aun de la temperatura ambiente a la que se somete; a bajas temperaturas su capacidad puede reducirse hasta un 25 % y a altas temperaturas algunas baterías podrían sufrir de sobrecalentamiento. La duración de una batería puede variar de 4 a 8 horas, o bien de 600 a más de 1000 mediciones con IEMD. Las baterías Li-ion son las que presentan mayor ventaja sobre las otras.
- **Pantalla y teclado:** la pantalla de una estación total puede variar en tamaño y forma en cada modelo de estación total; los últimos modelos presentan interfaces mejoradas y pantallas a color y algunas aun con pantallas táctiles que permiten la interacción entre operario e instrumento más amigable. Al igual, el teclado que puede ser tan simple con teclas básicas para la selección de funciones e ingreso de datos en un teclado alfanumérico, o tan complejo, integrado por más teclas de funciones directas o de desplazamiento dentro del menú que se despliega en la pantalla.

Una estación total puede tener características que la especialicen para un área específica de uso, por ejemplo, alguna estación puede ser enfocada en el uso de topografía y agrimensura, mientras otra para replanteos y construcciones; esto no significa que no pueda usarse en otra área, solamente específica que su rendimiento es mejor para aplicaciones de ese tipo. Sin embargo, para abarcar de manera general una clasificación de estos instrumentos, se pueden nombrar dos grandes grupos: las estaciones manuales y las estaciones robotizadas o servoasistidas.

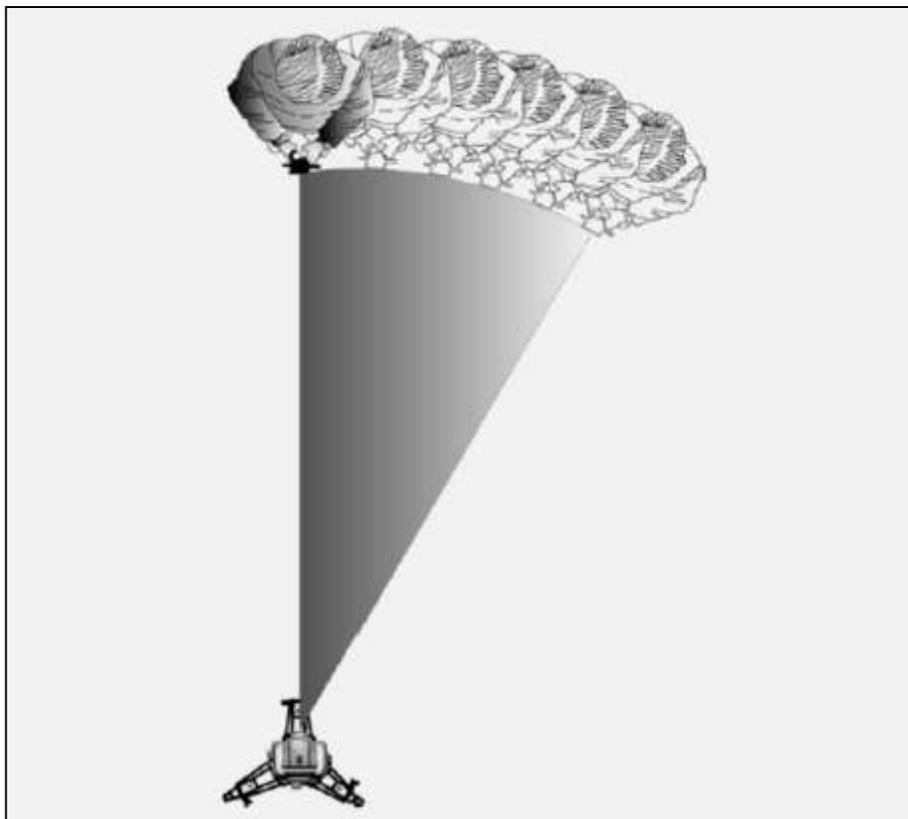
La estación total manual es la de mayor difusión en nuestro medio, debido a su versatilidad y amplio uso en la topografía en general. El título de “manual” de este tipo de estación se debe a que los movimientos de los círculos horizontales y verticales se realizan manipulando directamente la estación por medio de tornillos de fijación o pequeños movimientos, de igual forma como se haría con un teodolito.

Las estaciones motorizadas o servoasistidas son instrumentos modernos en el entorno topográfico. Algunas empresas que las fabrican las nombran como estaciones *one man system* debido a que para su operación solamente es necesaria una persona, sin necesidad de cadeneros y manejadas de forma remota por el operador que acciona los servomotores internos, que son motores eléctricos con características que le permiten controlar y fijar posiciones en los ejes de la estación total.

Generalmente la toma de medidas en una estación motorizada, luego de la nivelación y orientación del aparato, se realizan por cualquiera de dos modos: modo de reflexión directa y por unidad de seguimiento.

El modo de reflexión directa no difiere mucho del IEMD de una estación total manual, la colimación de los puntos se realiza por medio de tornillos sinfín que activan los servomotores de los limbos horizontal y vertical; además, en algunos casos, pueden contar con la opción de autoajuste de puntería por medio de reconocimiento automático de objetivos. Por otro lado, el modo por unidad de seguimiento permite que la estación total pueda “engancharse” a un prisma y seguirlo, controlando los servomotores de la estación total y permitiendo que esta apunte correctamente hacia el objetivo, como lo muestra la figura 11.

Figura 11. **Mediciones con estación total *one man system***



Fuente: <http://is.gd/9k0AF7>. Consulta: 1 de agosto de 2013.

Debido a la relativamente reciente introducción de estas estaciones y los altos precios de estas en el mercado de instrumentos topográficos, las estaciones totales robotizadas no son muy comunes en nuestro medio. En la figura 12 se muestra una estación total servoasistida.

Figura 12. **Estación total servoasistida o robotizada**



Fuente: <http://is.gd/LfGtJW>. Consulta: 05 de abril 2013.

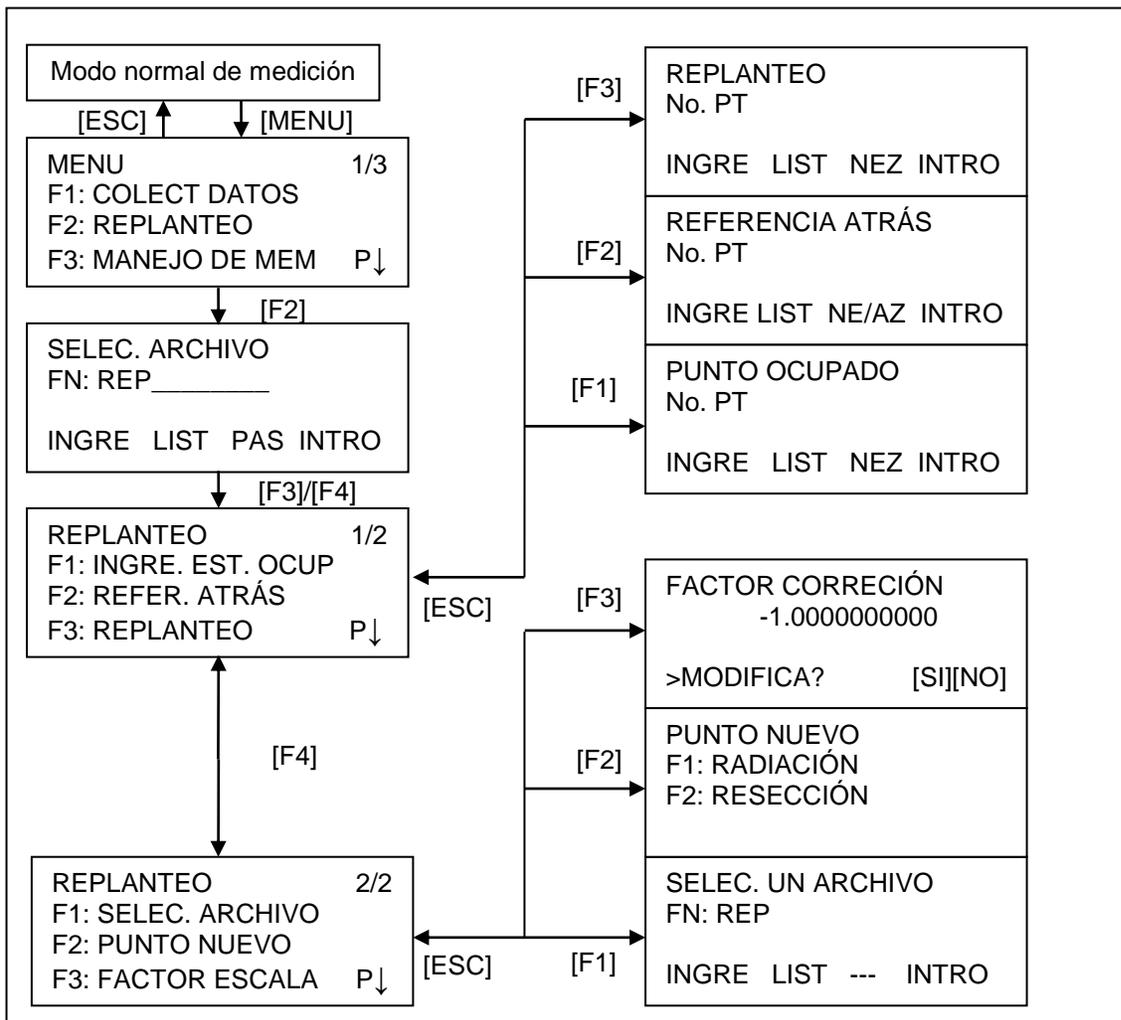
3.1.2. Programas y aplicaciones de estación total

Los programas y aplicaciones que están cargados de forma predeterminada a una estación total difieren de un modelo a otro. Entre los principales y más comunes se pueden mencionar:

- **Replanteo:** este programa asiste en el replanteo y modificación de puntos con coordenadas conocidas o en la integración de nuevos puntos, utilizando datos de coordenadas conocidas, almacenados en la memoria

o ingresados manualmente. La figura 13 esquematiza las funciones características del menú de replanteo en algunas estaciones.

Figura 13. Menú de replanteo en estación total

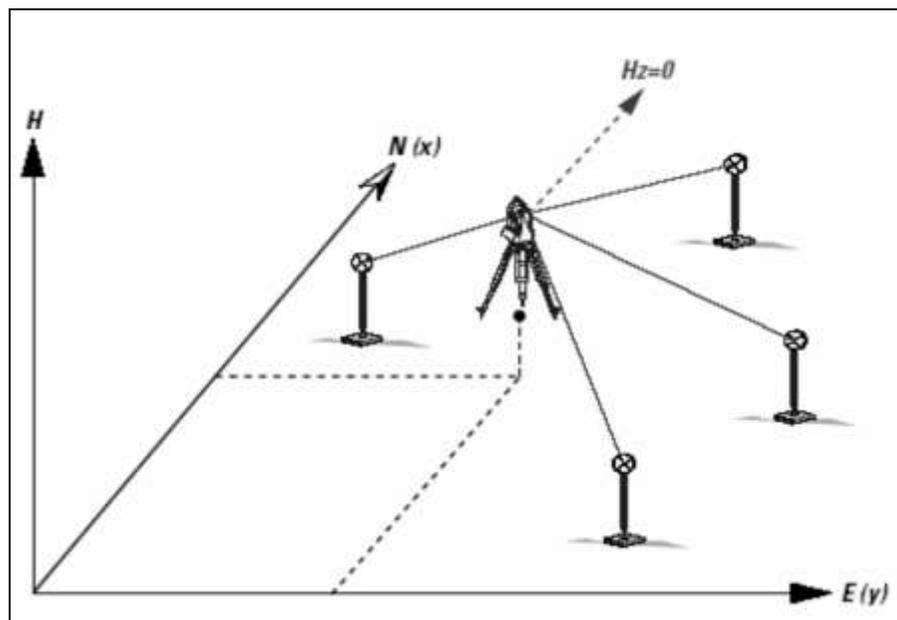


Fuente: <http://is.gd/wE5avs>. Consulta: 23 de abril de 2013.

- Puesta en estación libre: como una subopción al programa de replanteo, este programa calcula la posición y la altura de la estación del

instrumento, así como la orientación del círculo horizontal a partir de la medición de al menos dos puntos de coordenadas conocidas. Las coordenadas de los puntos de enlace se pueden ingresar manualmente o transferirse previamente a la memoria del instrumento. La puesta en estación libre tiene la ventaja de dar al operador la posibilidad de elegir la ubicación del instrumento que resulte más conveniente; de esta forma, ya no queda obligado a colocarse en un punto de coordenadas conocidas, pero con una ubicación poco satisfactoria.

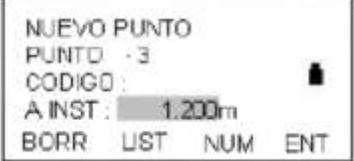
Figura 14. **Puesta en estación libre**



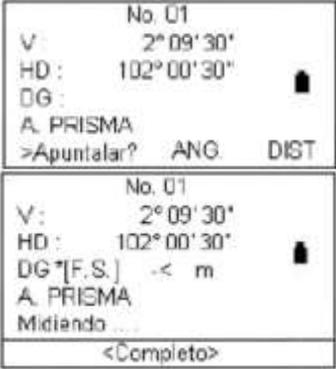
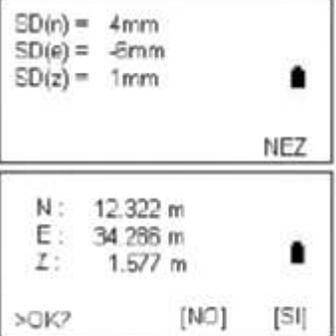
Fuente: <http://is.gd/PlxAGr>. Consulta: febrero de 2013.

En la figura 14 se esquematiza la operación de una puesta en estación libre, algunos manuales de estaciones totales titulan este procedimiento como replanteo por resección, bisección o trisección. En la tabla III se describe un procedimiento típico de funciones para utilizar este programa.

Tabla III. Procedimiento para puesta en estación libre

Procedimiento	Funciones en ET	Pantalla
Centrar y nivelar la estación total en el punto de coordenadas que se desean conocer.		
Dentro de la función de [Replanteo] buscar la subfunción [Resección], [Bisección] o [Trisección].	[REPLANTEO] ▶ [RESECCIÓN]	 
Introducir el nombre del nuevo punto, código y altura del instrumento; luego el sistema solicitará que se introduzca el nombre del punto conocido.	[ENT] ▶ [ENTRA]	 
La pantalla mostrará las coordenadas del punto conocido y solicitará una confirmación de la selección de este.	[SI]	
La pantalla indicará la solicitud de ingreso de altura de prisma.	[ENT]	

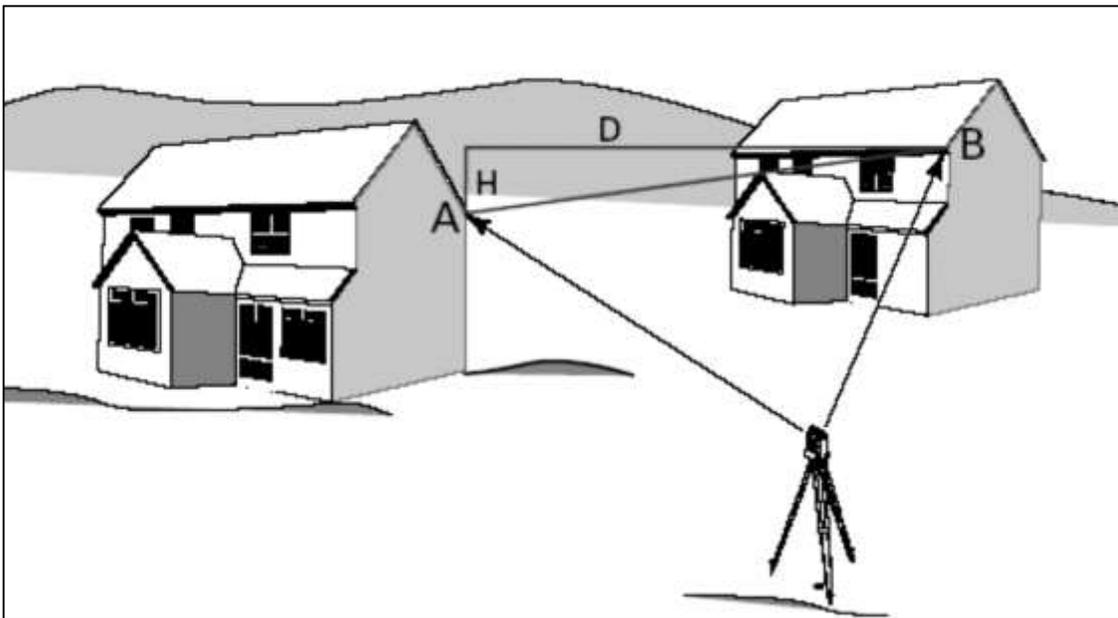
Continuación de la tabla III.

<p>Visar al punto conocido elegido y seleccionar si la resección será angular (es necesario conocer al menos tres puntos) o por distancia (es necesario conocer al menos dos puntos). Luego iniciará la medición.</p>	<p>[ANG] o [DIST]</p>	
<p>Al concluir la medición el instrumento solicitará el siguiente punto conocido para visar y se realiza la misma operación. Al completar, el error residual será calculado. Presionar [SIG] si hubiera más puntos, pudiendo ser hasta siete o [CALC] para calcular el nuevo punto.</p>	<p>[ENT] ▶ [SIG] o [CALC]</p>	
<p>Al concluir las mediciones de los puntos y calcular el nuevo punto, se mostrará la desviación estándar, y al presionar [NEZ] mostrará las coordenadas del nuevo punto y la opción para grabar el dato. Al concluir la pantalla regresará al menú de replanteo.</p>	<p>[NEZ] ▶ [SI]</p>	

Fuente: <http://is.gd/wNH99C>. Consulta: 23 de abril de 2013.

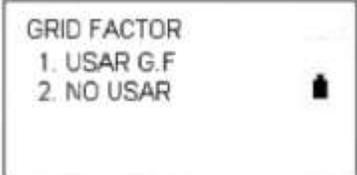
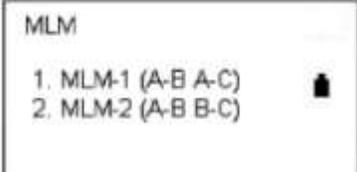
- Distancia de enlace: también conocido por sus siglas en inglés MLM (*Missing line measurement*); este programa establece la distancia y la diferencia de altura entre dos puntos, colocando la estación total en un punto aleatorio favorable, desde el cual puedan visarse ambos puntos en cuestión (tal como lo muestra la figura 15), o bien, tomando dos puntos desde la memoria del instrumento, para que esta realice el cálculo. Puede que sea necesario el uso de prismas de reflexión ubicados en los puntos desde los que se desea medir, a menos que la estación total que se esté manejando cuente con láser de medición sin prisma. En la tabla IV se muestra un procedimiento representativo para acceder y utilizar este programa.

Figura 15. **Distancia de enlace**

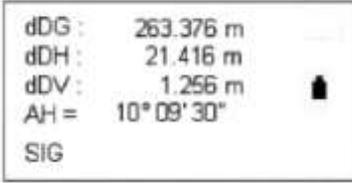


Fuente: <http://is.gd/PlxAGr>. Consulta: febrero de 2013.

Tabla IV. Procedimiento para distancia de enlace

Procedimiento	Funciones en ET	Pantalla
<p>Centrar y nivelar la estación total en el punto desde el cual se visarán los puntos en cuestión.</p>		
<p>En el menú de programas seleccionar [MLM]. El programa preguntará si se usarán coordenadas de puntos de la memoria o no. [ESC] para no y [ENT] para sí.</p>	<p>[MLM] ▶ [ESC]</p>	
<p>En la siguiente pantalla puede ingresarse un factor de corrección, si es necesario o se desea, de lo contrario se elige la opción [NO USAR].</p>	<p>[USAR G.F] o [NO USAR]</p>	
<p>Se cuenta con dos opciones de uso: la opción [A-B A-C] puede medir tres puntos referenciados al primero; la opción [A-B B-C] puede determinar las distancias de tres puntos referenciados al segundo que se mide.</p>	<p>MLM1[A-B A-C] o MLM2[A-B B-C]</p>	

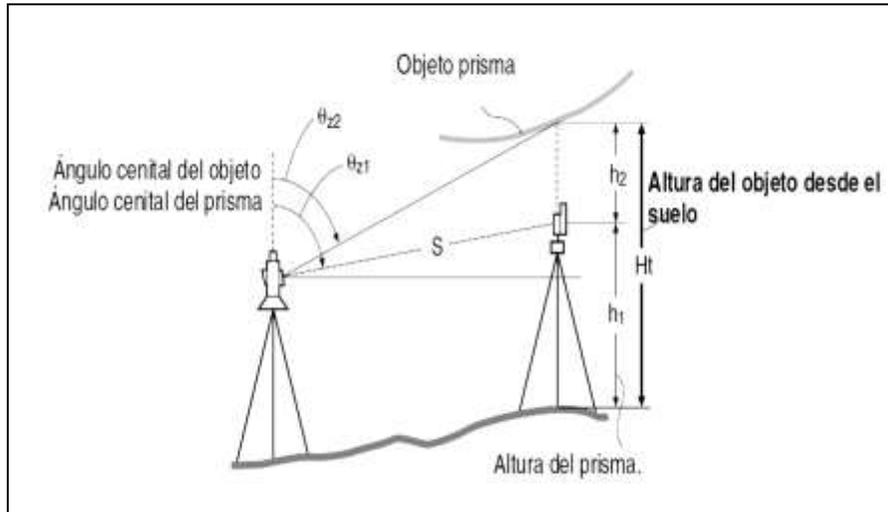
Continuación de la tabla IV.

<p>Si se desea medir la distancia entre dos puntos como el ejemplo de la figura 15, visar hacia el primer punto (A) y presionar [MEDIR]. Al terminar, mostrará la distancia del instrumento al punto (A).</p>	<p>[MEDIR]</p>	
<p>Se repite la operación para el siguiente punto (B) y el sistema calcula la distancia horizontal y vertical entre los puntos (A) y (B). El sistema permite la medición de más puntos para referenciar distancias hacia el punto (A), presionando la función [SIG] o [ESC] para regresar al menú principal.</p>	<p>[ANG] o [DIST]</p>	

Fuente: <http://is.gd/wNH99C>. Consulta: 23 de abril de 2013.

- Medición de alturas remotas: también conocido por sus siglas en inglés REM (*Remote elevation measurement*). Este programa ayuda a medir la distancia vertical entre un punto accesible y uno remoto o entre dos puntos remotos. En el primer caso se utiliza un prisma para apuntar hacia el punto conocido y para el segundo no es necesario el uso de prisma, si es que la estación total cuenta con dicha opción. Básicamente la medición REM sirve para medir la altura a un punto en el que no se puede instalar directamente un prisma. Por ejemplo: cables eléctricos, catenarias, puentes, u otros como se muestra en la figura 16.

Figura 16. **Medición de alturas remotas**

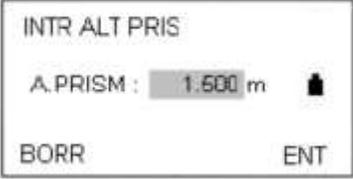
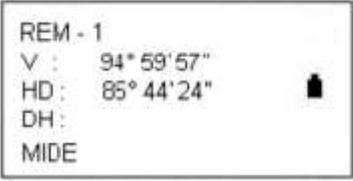
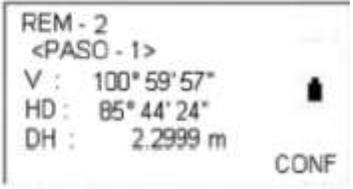
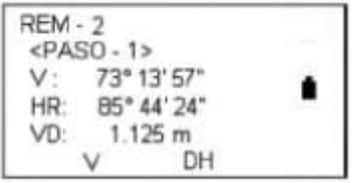


Fuente: <http://is.gd/vsEYWd>. Consulta: 31 de julio de 2013.

Tabla V. **Procedimiento para medición de alturas remotas**

Procedimiento	Funciones en ET	Pantalla
Centrar y nivelar la estación total en el punto desde el cual se visarán los puntos en cuestión.		
En el menú de programas seleccionar [REM]. El programa solicitará la confirmación para ingresar la altura de prisma [1] o en el caso que no se conozca [2].	[REM] ▶ [INTR. ALT PRISM] o [SIN ALT PRISM]	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>1. REM</p> <p>2. MLM</p> <p>3. COORDENADA Z</p> <p>4. AREA</p> <p>5. PUNTO A LINEA</p> <p>6. Ejes</p> <hr/> <p>REM 1/2</p> <p>1. INTR ALT PRISM</p> <p>2. SIN ALT PRISM</p> <p style="text-align: right;">Pt</p> </div>

Continuación de la tabla V.

<p>Ingresar la altura de prisma medida (si esta fue la opción elegida en el paso anterior), visar hacia este y presionar la acción [MIDE] en el instrumento.</p>	<p>[ENT] ▶ [MIDE]</p>	 
<p>Cuando la medición termina, se muestra la distancia horizontal hacia el prisma. Luego presionar [CONF] y visar hacia el objetivo y se mostrará la altura remota (VD)</p>	<p>[CONFIG] ▶ Colimar</p>	 

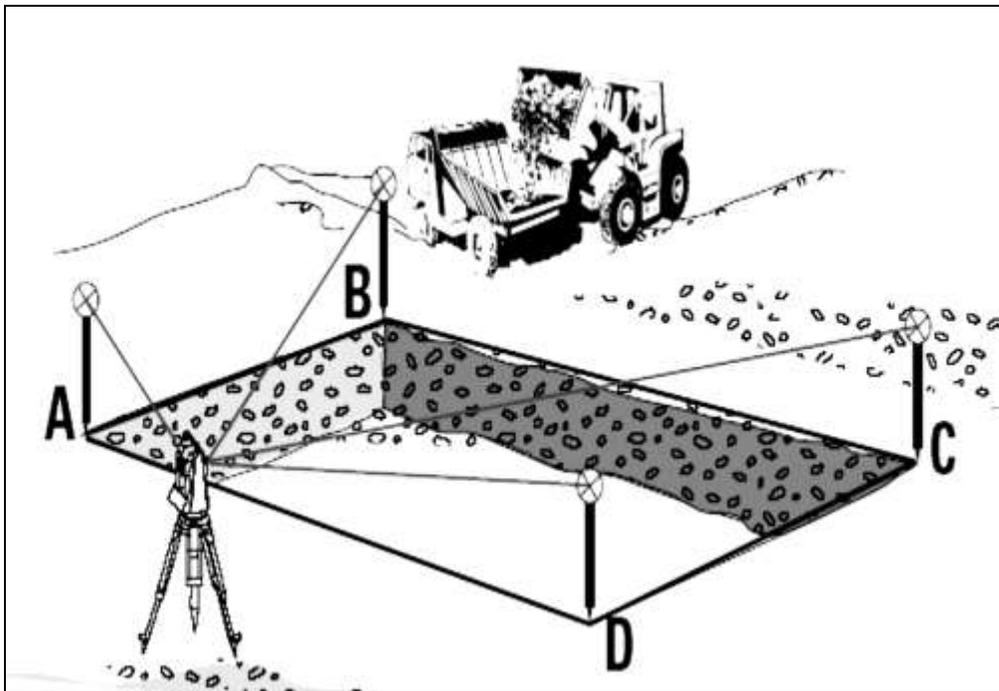
Fuente: <http://is.gd/wNH99C>. Consulta: 23 de abril de 2013.

La tabla V muestra un procedimiento representativo de la utilización de este programa.

- Cálculo de área: se puede calcular el área de una figura cerrada; este cálculo puede ser desde un archivo de coordenadas almacenado en la memoria de la estación total, o bien con datos que se han de medir directamente desde un sitio del cual se puedan visar todos los puntos en cuestión, como lo muestra la figura 17. Debido a que el cálculo de área que realiza una estación total lo efectúa a partir de las coordenadas de los vértices, la precisión que alcance esta, está directamente relacionada con

la precisión con la que se miden las coordenadas. Es importante mencionar que si las líneas del perímetro de la figura a la cual se desea calcular el área se cruzan entre sí, el área no será calculada o devolverá valores falsos.

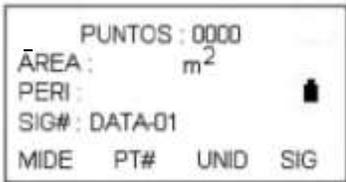
Figura 17. **Cálculo de área con estación total**



Fuente: <http://is.gd/PlxAGr>. Consulta: febrero 2013.

La tabla VI muestra un procedimiento característico para el uso de este programa en una estación total.

Tabla VI. Procedimiento para cálculo de área

Procedimiento	Funciones en ET	Pantalla
<p>Centrar y nivelar la estación total en el punto desde el cual se visarán los puntos en cuestión.</p>		
<p>En el menú de programas seleccionar [ÁREA]. El programa solicitará que se seleccione el archivo de coordenadas al cual se le calculará el área. Presionar [ENT] luego de seleccionarlo o [ESC] si los puntos serán medidos.</p>	<p>[ÁREA] ▶ [ENT] o [ESQ]</p>	
<p>En la pantalla de cálculo del área, si se seleccionan los puntos de la memoria utilizar cualquiera de las opciones disponibles ([SIG], [PT#]). Si se miden los puntos en campo, seleccionar la opción [MIDE].</p>	<p>[SIG] o [PT#] ▶ [MIDE]</p>	
<p>El sistema iniciará la medición. Luego de haber tomado al menos tres puntos, en la pantalla se mostrará el área calculada, si se desea seguir tomando más puntos, se continúa utilizando la función [MIDE].</p>	<p>[MIDE] ▶ Colimar [MIDE]...</p>	

Fuente: <http://is.gd/wNH99C>. Consulta: 23 de abril de 2013.

Estos programas ayudan a realizar tareas específicas, y aun cuando el nombre de algún programa difiera entre un modelo y otro de una estación total, su principio es básicamente el mismo.

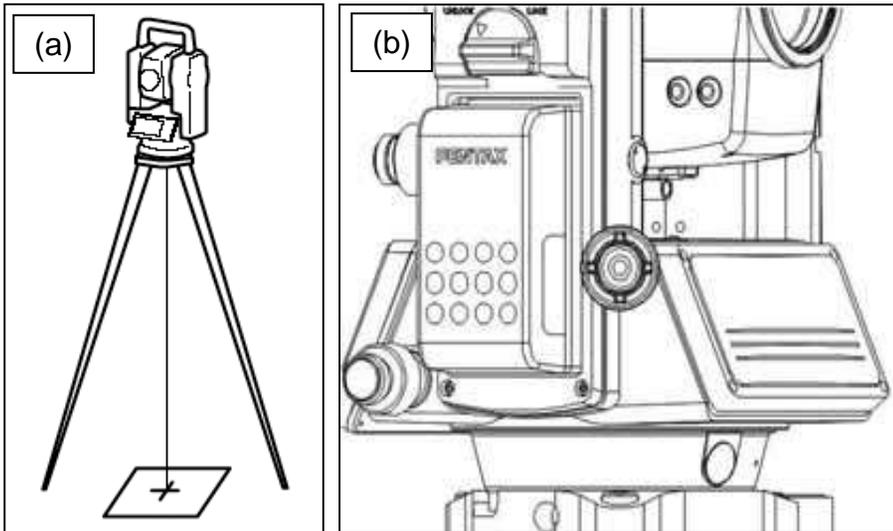
Es recomendable que al trabajar en una estación total se pueda consultar el manual de usuario, para conocer los programas específicos con las que ese modelo en especial cuenta y la forma adecuada de utilizarlos.

3.2. Instalación y operación de las estaciones totales

Para la instalación y operación de una estación total se utilizan los mismos procedimientos básicos que se manejan en un teodolito:

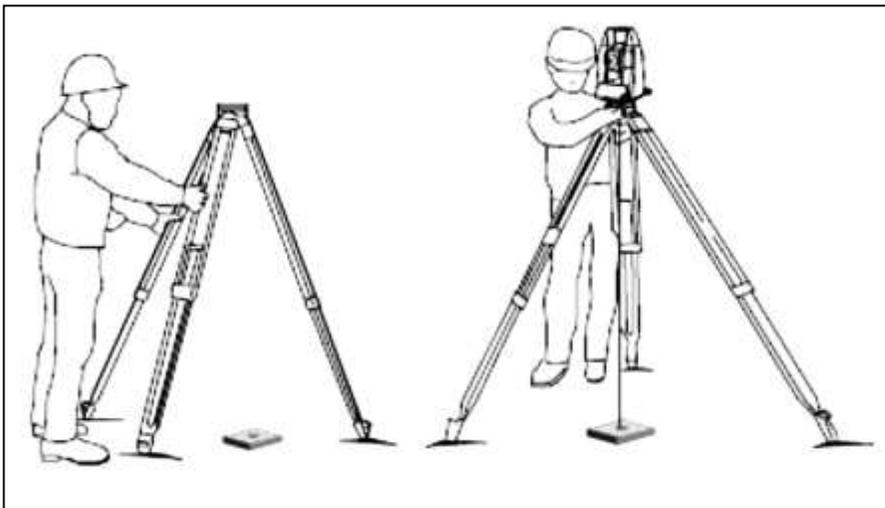
- **Instalación:** este proceso se refiere a la colocación del instrumento en un punto desde el cual sea favorable la visualización de todos los puntos posibles y necesarios para el trabajo de medición que se realizará. La instalación implica que el instrumento esté centrado lo más ajustado al punto fijado en el suelo y nivelado respecto del plano horizontal. Para lograr el centrado y nivelación de una estación total se hace uso de los niveles y plomadas mencionadas anteriormente.
 - **Centrado:** para realizar esta operación se hace uso de una plomada óptica, figura 18(b), o una plomada láser, figura 18(a), según sea con la que venga incorporada al modelo de estación total en uso. Consiste en colocar el instrumento exactamente sobre el punto elegido ubicado en el suelo. La figura 19 esquematiza el proceso de centrado de una estación total, utilizando plomada láser.

Figura 18. **Plomadas para centrado de estación total**



Fuente: <http://is.gd/Z36RPy>. Consulta: 23 de abril de 2013.

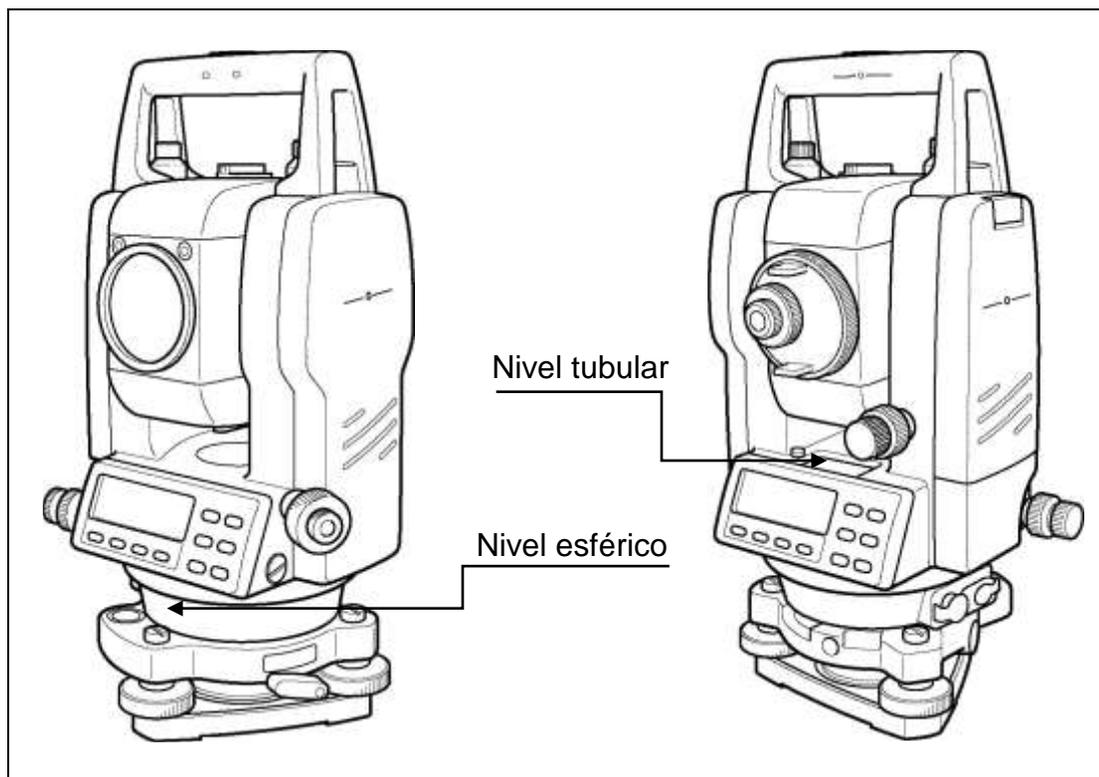
Figura 19. **Centrado de una estación total**



Fuente: <http://is.gd/PlxAGr>. Consulta: febrero de 2013.

- Nivelación: por medio de niveles de burbuja o electrónicos se busca colocar la estación total nivelada respecto de un plano horizontal paralelo a la superficie de la Tierra. Los niveles de burbuja son de dos tipos: tubulares y esféricos (ver figura 20). Por lo general la mayoría de estaciones totales cuenta con niveles de burbuja y electrónicos; es un procedimiento común utilizar los niveles de burbuja primeramente y luego comprobar la nivelación por medio electrónico.

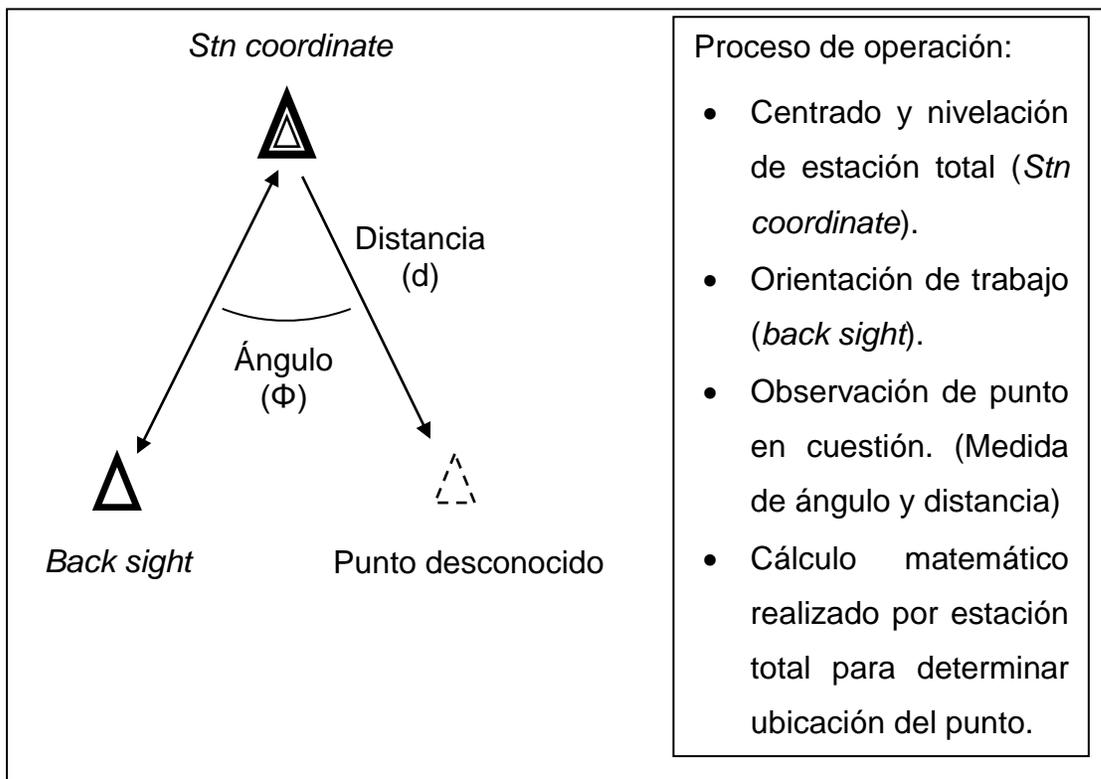
Figura 20. **Niveles de burbuja en estación total**



Fuente: <http://is.gd/wE5avs>. Consulta: 23 de abril de 2013.

- Operación: el funcionamiento de una estación total se basa en el principio geométrico de triangulación; en el caso de una estación total, se determina las coordenadas de un tercer punto con base a coordenadas de otros dos puntos conocidos o asumidos; estos últimos suelen tener la misma nomenclatura en la programación de la mayoría de estaciones totales y son conocidos como *stn coordinate* y *back sight*. La coordenada de la estación o *stn coordinate* es sobre la cual se instala el aparato y desde la cual se visarán los puntos de interés. El *back sight* es la coordenada de un punto visible desde la estación cuyas coordenadas son conocidas. La figura 21 esquematiza el funcionamiento y operación.

Figura 21. **Funcionamiento básico operacional de una estación total**



Fuente: HERNÁNDEZ VALENCIA, Leopoldo. *Manual de operación de estación total*. p. 6.

3.3. Mediciones con estación total

Una estación total se utiliza para la determinación de posición y altura de un punto representativo de la superficie terrestre, es decir que el uso de una estación total es para realizar mediciones topográficas como se expresó anteriormente. Es necesario entender el funcionamiento de una estación total para la medición de niveles, distancias y ángulos, que son los tres parámetros principales en mediciones topográficas, con el fin de facilitar el manejo de estos instrumentos.

3.3.1. Medición de niveles

Una estación total maneja los principios de la nivelación trigonométrica para obtener los niveles de los puntos que se requieren en un levantamiento. Básicamente una estación total configurada para un levantamiento en el que se desee obtener las tres coordenadas (x,y,z) de un punto, obtiene el nivel de este por medio de la coordenada "z".

Algunos profesionales topógrafos no recomiendan la nivelación por medio de estación total, argumentando que se obtiene mayor precisión con métodos de nivelación diferencial; utilizando nivel topográfico se evitan errores instrumentales por desajuste en el limbo vertical de la estación total. Sin embargo, cuando la pendiente del terreno en el cual se está practicando la nivelación supera el 20 %, algunos objetan que es preferible el uso de estación total a cambio de un constante movimiento del nivel de precisión topográfico en la nivelación diferencial. Por lo tanto, el uso de uno u otro método se puede particularizar, con estación total, si la pendiente del terreno es mayor al 20 % o con nivel topográfico, si es menor.

3.3.2. Medición de distancias

En una estación total el IEMD es el encargado de medir las distancias; puede ser de dos tipos: infrarrojo y láser, este último con la capacidad de medir distancias sin la necesidad de utilizar prismas de reflexión. Las características específicas de los IEMD pueden variar entre estaciones, ofreciendo diferentes valores en precisión, alcance y velocidad.

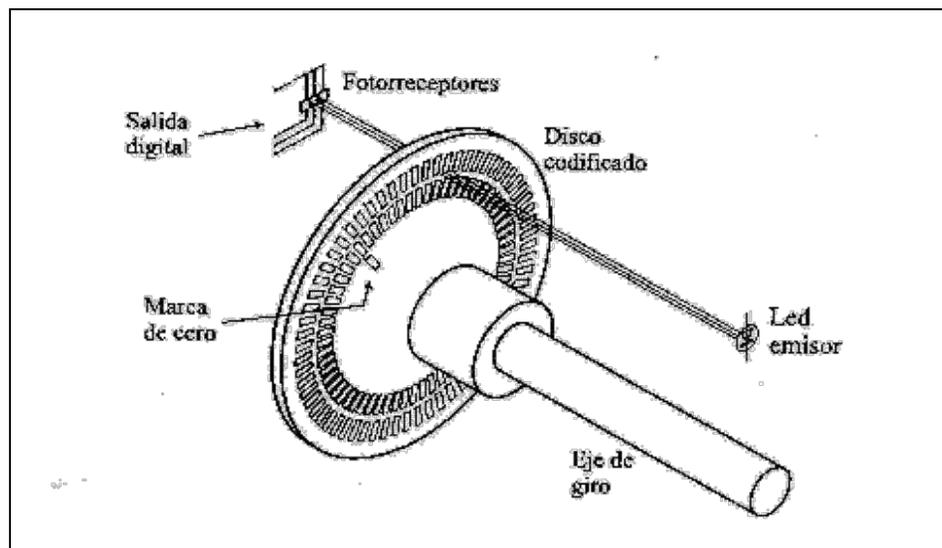
- Precisión: esta se maneja en dos partes: una fija y otra que depende de la longitud de la medida; por ejemplo, si una estación total especifica una precisión de +/- (5 mm + 3 ppm), la cifra de 5 mm es una parte fija de un posible error, mientras que la cifra 3 ppm (partes por millón), indica que por cada kilómetro se deduce un error de +/- 3 mm; así en una longitud medida de 100 m se podría esperar una precisión de +/- 5,3 mm. Los valores de precisión pueden variar entre +/- (1 mm + 1 ppm) y +/- (5 mm + 5 ppm).
- Alcance: es la máxima distancia posible que puede medirse por medio del IEMD; esta varía según la cantidad de reflectores o prismas utilizados, las condiciones atmosféricas y de la calidad del IEMD. El rango de alcance que tienen algunos instrumentos logra ser desde 500 m, con un prisma y condiciones atmosféricas medias, hasta 11 km con tres prismas y condiciones atmosféricas óptimas.
- Velocidad: es el tiempo que tarda el instrumento en procesar y mostrar en la pantalla el dato medido. La mayoría de instrumentos pueden cambiar el modo de medición según la necesidad de un levantamiento en especial y del modo elegido dependerá la velocidad en que se muestra sobre la

pantalla el dato; así en un modo fino se consiguen tiempos de 1 a 4 segundos y en modo rápido o de rastreo de 0,15 a 1,5 segundos.

3.3.3. Medición de ángulos

Para la medición de ángulos, una estación total cuenta con sistemas compuestos de dispositivos electromecánicos conocidos como codificadores o *encoders*. Básicamente un codificador, como se muestra en la figura 22, está compuesto de una placa transparente en forma de disco (disco codificado) con marcas opacas colocadas radial y equidistantemente y por medio de un sistema compuesto de un emisor de luz y fotorreceptores, los cuales convierten una posición del disco codificado en una señal digital, es decir, el ángulo en que se encuentra posicionado. Una estación total puede tener codificadores de dos tipos: absolutos o incrementales.

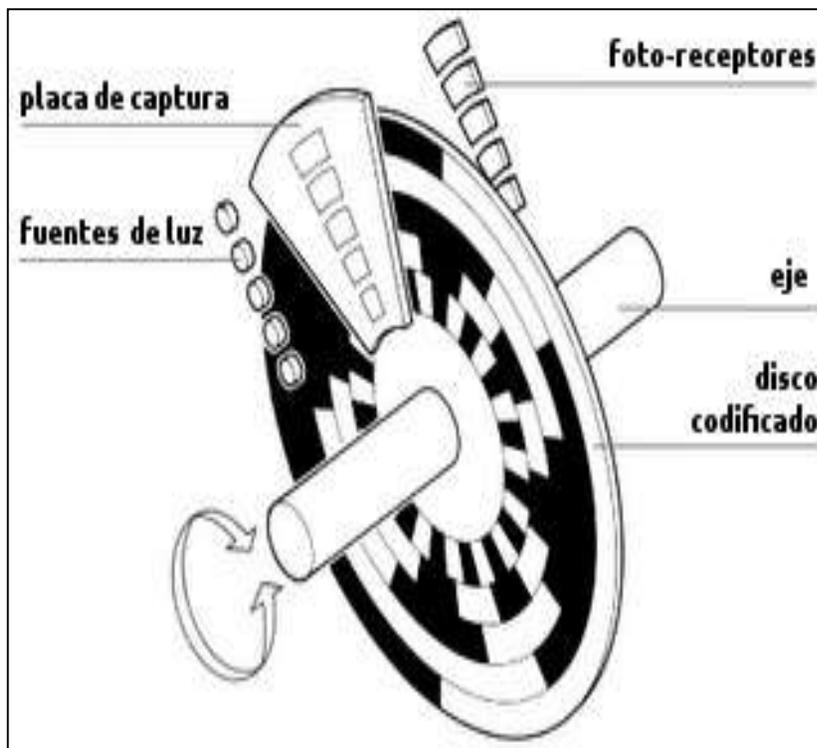
Figura 22. Componentes de un codificador de estación total



Fuente: <http://is.gd/1c7146>. Consulta: 05 de agosto 2013.

- Sistema de codificador absoluto: este sistema básicamente produce una señal digital para cada posición específica sobre el eje; esto quiere decir que aun cuando la estación total se apague, agote la carga de la batería o se tenga que sustituir esta durante un trabajo topográfico, la orientación fijada no se perderá si el eje no se mueve. Esto se logra por la configuración del patrón en su disco codificado, el cual distingue una posición sobre el eje y devuelve una señal binaria única para dicha posición, convirtiéndola en el ángulo de posicionamiento. La figura 23 muestra un codificador absoluto.

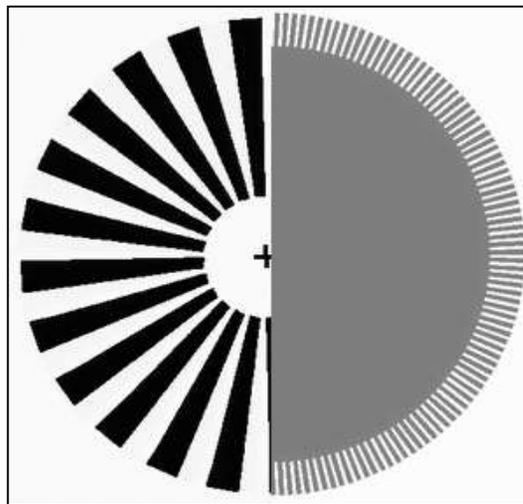
Figura 23. **Codificador absoluto**



Fuente: <http://is.gd/lsnp9S>. Consulta 05 de agosto de 2013.

- Sistema de codificador incremental: este difiere del absoluto en que no cuenta con una señal específica para cada posición angular, sino que cuenta pulsaciones a cada cambio sobre el eje, sin distinguir específicamente el ángulo, solamente aumenta o disminuye sobre un punto de referencia elegido. El codificador de la figura 22 es de tipo incremental y en la figura 24 se ven dos posibles configuraciones de patrón para un disco codificado de este tipo.

Figura 24. **Disco codificador incremental**



Fuente: <http://is.gd/YhoKro>. Consulta: 04 de febrero de 2013.

Debido a la configuración de los codificadores de posición angular se deben tomar en cuenta dos conceptos que pueden llegar a confundirse: la precisión angular y la mínima lectura angular o resolución. La resolución en un sistema con disco codificador angular sería el menor cambio en la magnitud que se aprecia; por otro lado, la precisión sería el máximo error esperado en la medida. Estos valores varían según las especificaciones del fabricante de la estación total.

- Precisión angular: se basa en estándares normados por el Instituto de Normalización Alemana (Deutsches Institut für Normung) DIN 18723, o por su análogo de la Organización Internacional de Normalización (International Organization for Standardization) ISO 12857 y su versión corregida más reciente ISO 17123-3. La precisión angular varía entre 0,5" y 20" y los valores más comunes en el mercado son 1", 2", 3", 4", 5" y 10". Por ejemplo, cuando se dice que la precisión angular de una estación total es de 2", implica que una sola medición realizada, tanto en la cara derecha e inversa de la estación total, puede diferir en un error máximo de 2".
- Mínima lectura angular: también se le llama resolución angular; este es el valor mínimo del ángulo vertical u horizontal que se muestra en la pantalla de la estación, puede variar desde 1" hasta 10".

3.3.4. Procesamiento de datos

Anteriormente se mencionaron las opciones de memoria con las que puede contar una estación. Cualquiera que sea el tipo de memoria que utilice una estación total o la capacidad de almacenamiento, es necesario que la información recopilada por esta sea transferida a un equipo de computación y procesada para su uso en la elaboración de dibujos o libretas; esta acción de transferencia y procesamiento de datos que puede ser de cualquiera de las siguientes formas:

- Desde un recolector de datos externo hacia un equipo de computación por medio de cable.

- Directamente desde la estación y su memoria interna hacia un equipo de computación por medio de cable.
- Desde una tarjeta de memoria removible de la estación total hacia un equipo de computación por medio de un lector de tarjetas.

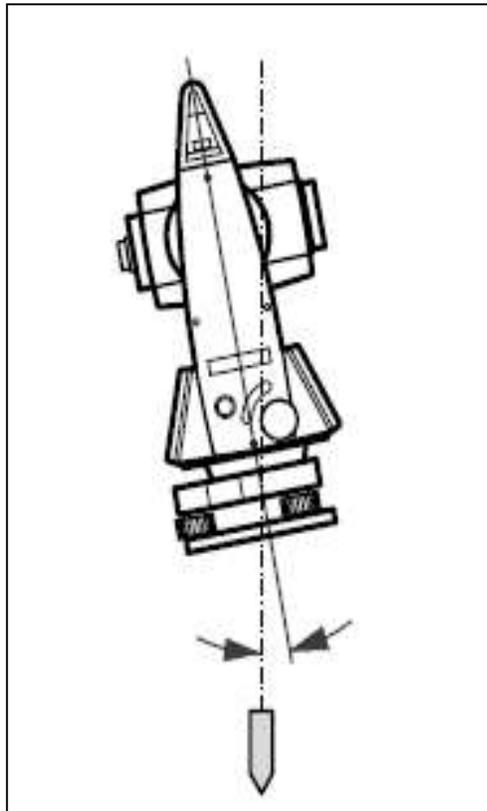
Con el fin de facilitar la transferencia de datos, en cualquiera de las formas mencionadas, al conectarse se suele utilizar una interface o software que permite la transferencia de datos de la libreta electrónica a un equipo de computación. Los programas que vienen integrados para la transferencia de datos son, en general, compatibles con la mayoría de sistemas operativos de equipos de computación.

3.4. Precisión teórica y posibles causas de error

La precisión en medidas de distancias y ángulos de una estación total se han mencionado con anterioridad; las posibles causas de error en una estación total pueden ser originadas por el propio instrumento; pueden mencionarse las siguientes:

- **Inclinación del eje vertical:** implica que el eje vertical del instrumento y la línea de la plomada no se encuentran alineados, sino que forman un ángulo entre ellas, provocando un error causado por una incorrecta instalación y nivelación del instrumento. El error no se elimina aún efectuando mediciones en las dos posiciones del anteojo y la mejor forma de evitar esta inclinación es haciendo nivelaciones meticulosas, prestando cuidadosa atención a los niveles de burbuja del instrumento. La figura 25 esquematiza el error por inclinación del eje vertical.

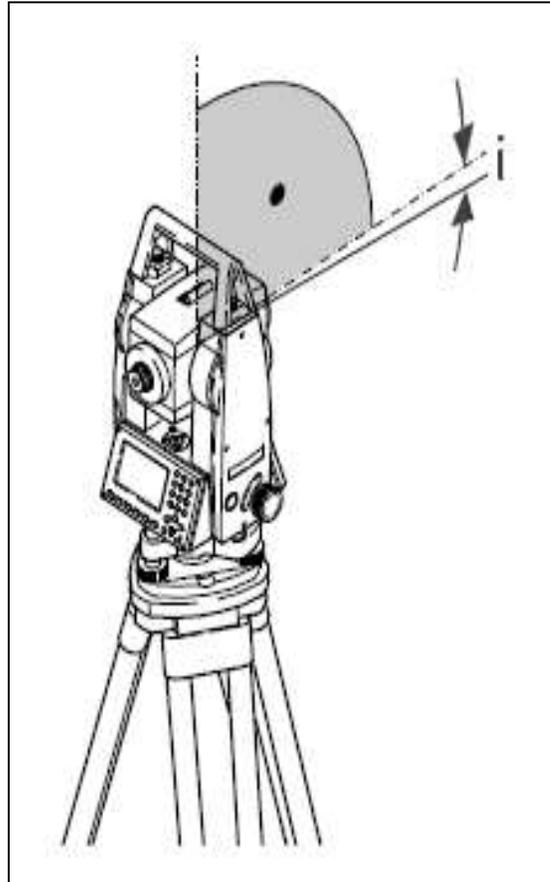
Figura 25. **Inclinación del eje vertical**



Fuente: <http://is.gd/PlxAGr>. Consulta: febrero de 2013.

- Error del índice vertical (i): es un ángulo que se forma entre la dirección cenital y la lectura en cero del círculo vertical; es decir, la lectura del círculo vertical, al emplear un eje de puntería vertical, no es 90° sino $90^\circ+i$, causado por un desajuste en el limbo vertical. Este error puede compensarse al realizar mediciones desde las dos posiciones del anteojo, o bien, algún técnico o especialista en mantenimiento de la estación total puede ajustar el aparato para compensar el error. La figura 26 esquematiza el error del índice vertical en una estación total.

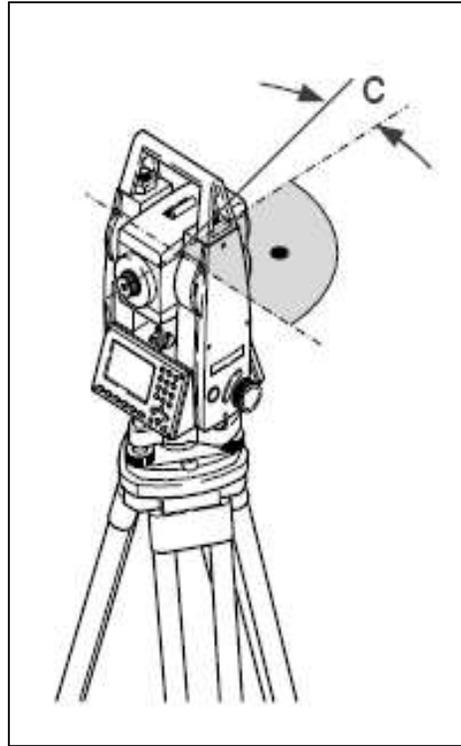
Figura 26. **Error del índice vertical**



Fuente: <http://is.gd/PlxAGr>. Consulta: febrero de 2013.

- Error del eje de puntería o error de colimación (c): es la desviación respecto del ángulo recto entre el eje de puntería y el eje de inclinación. Este error es análogo al error del índice vertical, causado por un desajuste en el limbo horizontal, y la mejor forma de compensarlo es tomando mediciones en las dos posiciones del anteojo. La figura 27 esquematiza el error del eje de puntería o error de colimación.

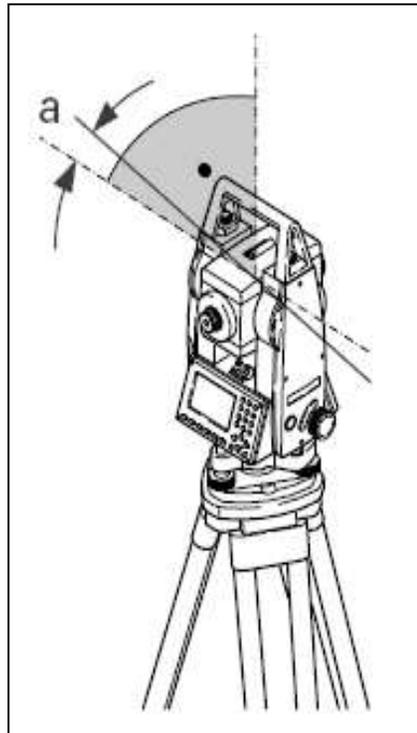
Figura 27. **Error del eje de puntería o error de colimación**



Fuente: <http://is.gd/PlxAGr>. Consulta: febrero de 2013.

- Error del eje de inclinación (a): es la desviación respecto del ángulo recto entre el eje de inclinación y el eje vertical. Causado por desajuste en el instrumento; este error influye en la toma de diferencias de niveles y puede compensarse por medio de tomas en lecturas de las dos posiciones del anteojo. La figura 28 esquematiza el error del eje de inclinación.

Figura 28. **Error del eje de inclinación**



Fuente: <http://is.gd/PlxAGr>. Consulta: febrero de 2013.

Los efectos que ejercen los errores de inclinación del eje vertical, del eje de puntería y del de inclinación, en las mediciones de los ángulos horizontales, se incrementan conforme aumenta la diferencia de alturas entre los puntos a medir. Los errores del eje de puntería y del eje de inclinación se eliminan al tomar mediciones en las dos posiciones del anteojo.

Los factores climatológicos también influyen en la precisión de las mediciones con estación total, sin embargo la mayoría de estaciones totales llevan integradas funciones, que al ingresar datos como la temperatura, automáticamente se encargan de realizar las correcciones correspondientes.

4. ANÁLISIS DE MÉTODO TAQUIMÉTRICO

El enfoque del presente capítulo corresponde al uso del método taquimétrico por medio de la aplicación a seis diferentes levantamientos, en los que se realizaron las observaciones necesarias a fin de alcanzar el objetivo analítico, tomando como guía los procedimientos enunciados anteriormente y adaptándolos según la necesidad requerida por cada levantamiento específico. Las tablas y figuras expuestas en este capítulo son derivadas de un procedimiento de campo y gabinete; describen los resultados finales junto con las libretas de campo y/o croquis realizados durante la práctica, observaciones y descripciones pertinentes de cada levantamiento.

Los levantamientos de aplicación se realizaron dentro de las instalaciones del campus central universitario, zona 12, de la Ciudad de Guatemala, con un equipo de trabajo compuesto por dos personas, y se consideró el uso de los siguientes instrumentos topográficos:

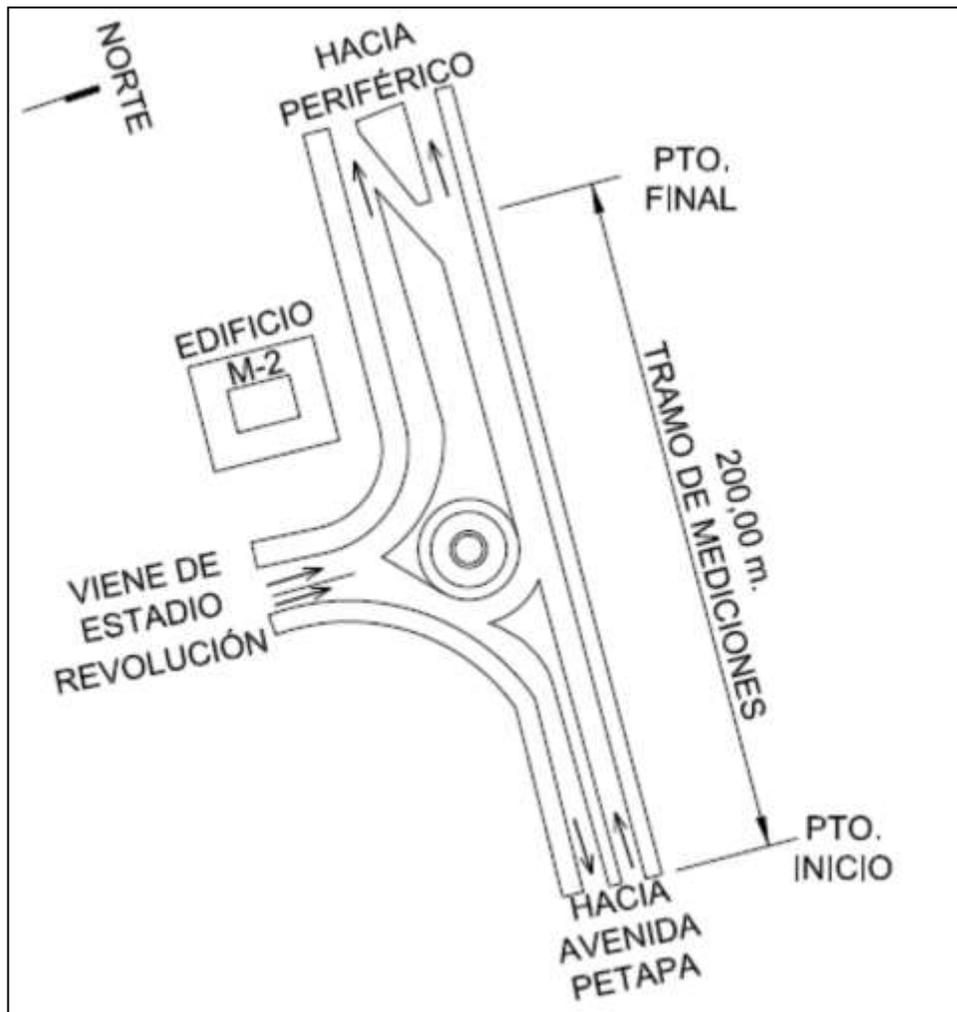
- Teodolito electrónico digital marca South serie ET-05 (especificaciones en anexo 1 y 2)
- Estadal de aluminio marca APEX (especificaciones en anexo 3)
- Trípode de aluminio
- Cinta métrica de nylon 50 metros marca INDEX precisión +/- 2 mm

Todos los instrumentos fueron proporcionados por el área de Topografía y Transportes de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

4.1. Análisis de medición de distancias

La medición de distancias para análisis, se realizó en un área cercana al redondel de ingreso a la Universidad de San Carlos, por avenida Petapa, como lo muestra el croquis de la figura 29.

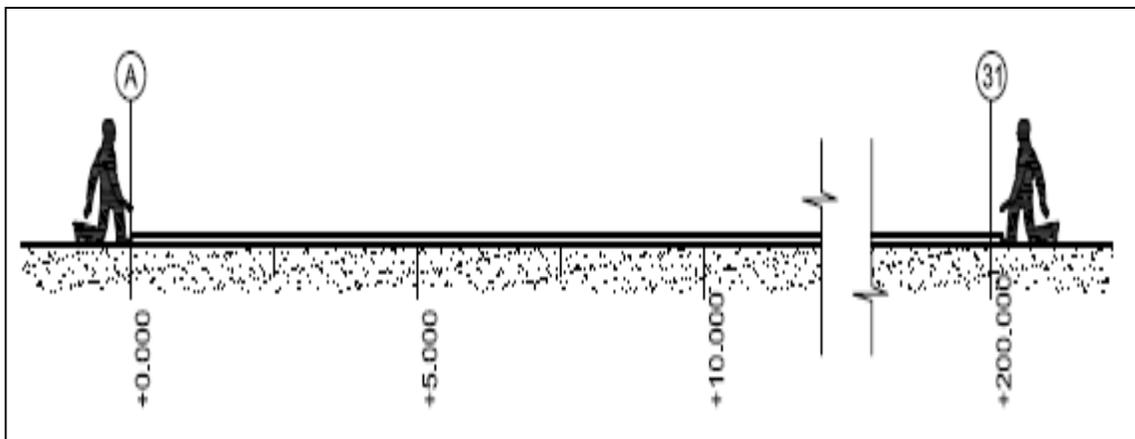
Figura 29. Ubicación de medición de distancias



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD 2010.

Las distancias se tomaron a partir del punto A como inicio y referencia de 0,00 m y se colocaron puntos de control para la medida patrón, marcados con cinta métrica (precisión +/- 2 mm) sobre una línea recta y con poca pendiente (aproximadamente del 0,73 %) tal como se muestra en la figura 30.

Figura 30. **Colocación de puntos de medida patrón**



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD 2010.

Se midieron treinta y un puntos desde la estación A de referencia, comprendidos entre los 2 y los 200 metros, y numerándolos del 1 al 31 de forma correlativa, colocando marcas sobre el suelo para luego compararlas con las distancias obtenidas con taquimetría y con estación total.

Los puntos marcados como patrón para el análisis de la medición de distancias se muestran en la tabla VII.

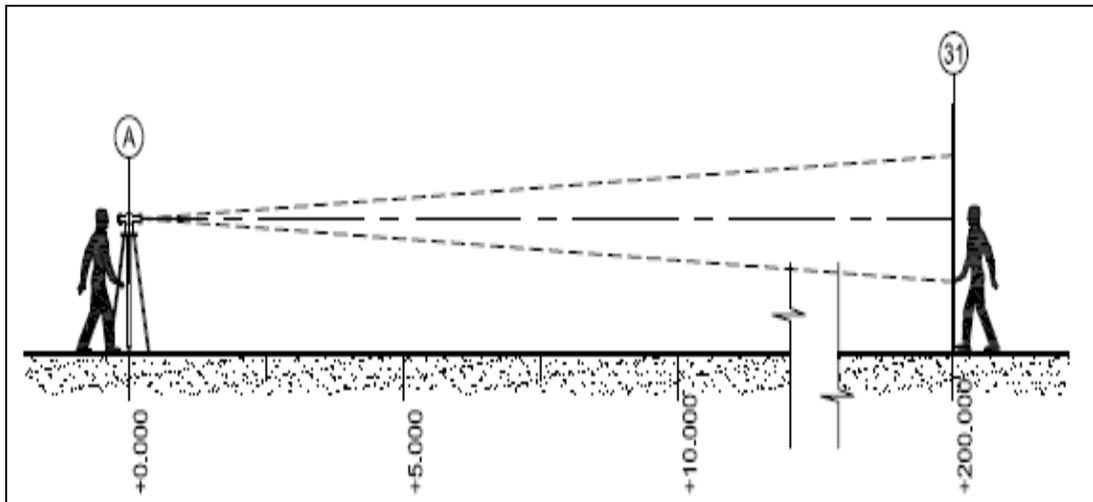
Tabla VII. **Puntos patrón para análisis de medición de distancias**

Estación	Punto observado	Distancia horizontal patrón
A	1	2,000
A	2	3,000
A	3	4,000
A	4	5,000
A	5	7,160
A	6	10,000
A	7	20,000
A	8	26,145
A	9	30,000
A	10	40,000
A	11	41,060
A	12	50,000
A	13	60,000
A	14	70,000
A	15	77,960
A	16	80,000
A	17	90,000
A	18	100,000
A	19	105,450
A	20	110,000
A	21	120,000
A	22	125,870
A	23	130,000
A	24	140,000
A	25	141,045
A	26	150,000
A	27	160,000
A	28	170,000
A	29	180,000
A	30	190,000
A	31	200,000

Fuente: elaboración propia.

Para la medición de distancias horizontales con taquimetría se utilizó el punto A como estación, desde la cual se visaron todos los puntos marcados de la medida patrón, según lo muestra la figura 31.

Figura 31. **Medición de distancias horizontales**



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD 2010.

Durante la realización del levantamiento, las anotaciones en la libreta de campo que se tomaron fueron principalmente el ángulo acimutal, los hilos estadimétricos y el ángulo vertical. Aunque el ángulo acimutal no cambió durante el levantamiento debido a que se trataba de una línea recta sobre la cual se estaban realizando las medidas; se decidió de igual manera tomar nota de este para mantener un estándar en la configuración de las libretas de campo, utilizando una referencia arbitraria para ubicar el norte.

El trabajo de la medición y anotación de este levantamiento se realizó en 35 minutos y la tabla VIII muestra la libreta de campo con los datos obtenidos durante la realización de la práctica.

Tabla VIII. **Libreta de campo de distancias por método taquimétrico**

Est	PO	Azimut	Hilos taquimétricos			Ángulo vertical
			Hilo inferior	Hilo medio	Hilo superior	
A	1	274° 44' 15"	1,340	1,350	1,360	95° 03' 25"
A	2	274° 44' 15"	1,300	1,314	1,330	94° 26' 10"
A	3	274° 44' 15"	1,300	1,320	1,340	93° 30' 15"
A	4	274° 44' 15"	1,300	1,325	1,350	93° 02' 00"
A	5	274° 44' 15"	1,200	1,235	1,272	93° 15' 30"
A	6	274° 44' 15"	1,300	1,350	1,400	91° 59' 45"
A	7	274° 44' 15"	1,300	1,400	1,500	91° 21' 55"
A	8	274° 44' 15"	1,200	1,330	1,460	91° 21' 25"
A	9	274° 44' 15"	1,500	1,650	1,800	90° 37' 45"
A	10	274° 44' 15"	1,400	1,500	1,800	90° 40' 50"
A	11	274° 44' 15"	1,300	1,505	1,710	90° 39' 25"
A	12	274° 44' 15"	1,400	1,700	1,900	90° 27' 05"
A	13	274° 44' 15"	1,910	2,210	2,510	90° 24' 10"
A	14	274° 44' 15"	1,855	2,215	2,555	90° 23' 15"
A	15	274° 44' 15"	1,400	1,791	2,182	90° 16' 00"
A	16	274° 44' 15"	1,790	2,190	2,590	90° 14' 20"
A	17	274° 44' 15"	1,400	1,850	2,300	90° 13' 50"
A	18	274° 44' 15"	1,400	1,900	2,400	90° 12' 10"
A	19	274° 44' 15"	1,400	1,926	2,452	90° 09' 35"
A	20	274° 44' 15"	1,400	1,950	2,500	90° 06' 55"
A	21	274° 44' 15"	1,300	1,900	2,500	90° 04' 45"
A	22	274° 44' 15"	1,295	1,925	2,555	90° 03' 10"
A	23	274° 44' 15"	1,500	2,150	2,800	89° 56' 25"
A	24	274° 44' 15"	1,300	2,000	2,700	89° 58' 50"
A	25	274° 44' 15"	1,400	2,105	2,810	89° 56' 20"
A	26	274° 44' 15"	1,200	1,950	2,700	89° 58' 25"
A	27	274° 44' 15"	1,200	2,000	2,800	89° 55' 20"
A	28	274° 44' 15"	1,200	2,050	2,900	89° 54' 50"
A	29	274° 44' 15"	0,530	1,430	2,330	89° 54' 15"
A	30	274° 44' 15"	0,200	1,150	2,100	89° 53' 45"
A	31	274° 44' 15"	0,330	1,330	2,330	89° 53' 25"

Fuente: elaboración propia.

Durante la realización del levantamiento se hicieron las siguientes observaciones:

- Inicialmente se consideró realizar lecturas a cada 10 metros hasta alcanzar la mayor distancia permitida por la visual del lente; sin embargo, se observó que la lectura de estadía coincidía en subdivisiones exactas del estadal, lo cual en levantamientos reales es poco probable, por lo que se añadieron algunas marcas a distancias aleatorias.
- La lectura de hilos con ambas caras del teodolito puede ayudar a disminuir errores instrumentales por desajuste en el limbo vertical si el instrumento no estuviese correctamente ajustado; sin embargo, hacer dos lecturas de un mismo punto duplica el trabajo y por consiguiente el tiempo empleado en la medición, perdiendo el objetivo de la taquimetría como procedimiento de medición rápida; tomando en cuenta esto, se decidió que era una mejor práctica comprobar primeramente el ajuste del limbo vertical por medio de una medición de un punto conocido en ambos lados del anteojo; si este se encuentra bien ajustado, proceder a una única medida del lado derecho del instrumento, con el cuidado necesario para evitar equivocaciones o lecturas erróneas de estadía.
- Se tomó en cuenta mantener el ángulo vertical a 90° en el teodolito, para favorecer el levantamiento por la minimización de cálculos en gabinete y la reducción de anotaciones en la libreta topográfica de campo, lo cual, en teoría, disminuiría la incidencia de equivocaciones al realizar anotaciones; a pesar de que esta consideración fuese cierta, se veía afectada la lectura de los hilos estadimétricos y la dificultad que ocasionaba lecturas en divisiones no exactas del estadal, por lo tanto, se decidió que era una

mejor práctica visar a alguno de los hilos en una división marcada en el estadal.

- Se consideró visar el estadal ubicando el hilo inferior en una división marcada en el mismo; sin embargo, en la realización de la comprobación de hilos se percató que era de mayor facilidad visar hacia el hilo medio y comprobar la lectura con el promedio de la diferencia entre el hilo superior y el inferior con el hilo medio,
- La lectura de hilos estadimétricos en distancias inferiores a 10 metros era complicada de tomar, debido a que un vaivén mínimo en el estadal causaba que saliera del campo de visión del lente, distancias menores a 2 metros no era posible enfocarlas con el lente, ya que, según las especificaciones del instrumento (ver anexo 2), la distancia mínima de enfoque es de 1,40 metros.
- De los 10 a los 130 metros, la lectura de hilos estadimétricos se hizo mucho más fácil y cómoda.
- De los 130 hasta los 200 metros, la lectura de hilos era posible pero dificultosa; factores como el aire denso y el viento, afectaban lo visual y distancias mayores de 200 metros no se consideran recomendables aun cuando hay una leve visibilidad del estadal.

La tabla IX muestra los resultados finales obtenidos de los cálculos realizados con la libreta de campo. La lectura de estada se obtuvo por la diferencia entre el hilo superior y el inferior y la distancia horizontal por taquimetría se calculó con base en la ecuación 2.9 del apartado 2.4.

Tabla IX. **Libreta final de distancias por método taquimétrico**

Est.	PO	Azimut	Lectura de estadía I = Hilo superior - Hilo inferior	Distancia horizontal patrón	Distancia horizontal por taquimetría
A	1	274° 44' 15"	0,020	2,000	1,984
A	2	274° 44' 15"	0,030	3,000	2,982
A	3	274° 44' 15"	0,040	4,000	3,985
A	4	274° 44' 15"	0,050	5,000	4,986
A	5	274° 44' 15"	0,072	7,160	7,177
A	6	274° 44' 15"	0,100	10,000	9,988
A	7	274° 44' 15"	0,200	20,000	19,989
A	8	274° 44' 15"	0,260	26,145	25,985
A	9	274° 44' 15"	0,300	30,000	29,996
A	10	274° 44' 15"	0,400	40,000	39,994
A	11	274° 44' 15"	0,410	41,060	40,995
A	12	274° 44' 15"	0,500	50,000	49,997
A	13	274° 44' 15"	0,600	60,000	59,998
A	14	274° 44' 15"	0,700	70,000	69,997
A	15	274° 44' 15"	0,782	77,960	78.198
A	16	274° 44' 15"	0,800	80,000	79,999
A	17	274° 44' 15"	0,900	90,000	89,999
A	18	274° 44' 15"	1,000	100,000	99,999
A	19	274° 44' 15"	1,052	105,450	105,199
A	20	274° 44' 15"	1,100	110,000	110,000
A	21	274° 44' 15"	1,200	120,000	120,000
A	22	274° 44' 15"	1,260	125,870	126,000
A	23	274° 44' 15"	1,300	130,000	130,000
A	24	274° 44' 15"	1,400	140,000	140,000
A	25	274° 44' 15"	1,410	141,045	141,000
A	26	274° 44' 15"	1,500	150,000	150,000
A	27	274° 44' 15"	1,600	160,000	160,000
A	28	274° 44' 15"	1,700	170,000	170,000
A	29	274° 44' 15"	1,800	180,000	180,000
A	30	274° 44' 15"	1,900	190,000	190,000
A	31	274° 44' 15"	2,000	200,000	200,001

Fuente: elaboración propia.

El tiempo de trabajo en gabinete de este tipo de levantamiento está más afectado por la digitalización de los datos obtenidos en campo; para el ingreso de la libreta de campo se hizo necesario utilizar 18 minutos de trabajo, teniendo ya preparada la hoja electrónica que calcularía automáticamente la distancia horizontal.

En la medición de distancias se tuvo diferencias que variaban entre los 0,001 m y 0,251 m, con un promedio de error absoluto de 0,033 m y una precisión dada por un error relativo medio del 0,128 %; sin embargo, las medidas en las que se encontró mayor variación respecto del patrón de medición, fueron las colocadas en puntos aleatorios y no en las que fueron colocadas a cada 10 m, tomando únicamente estas mediciones; el error absoluto medio fue 0,129 m y el error relativo medio del 0,241 %.

4.2. Análisis de nivelación

Se desarrolló un análisis de nivelación por medio de levantamientos que se realizaron en una pequeña colina, que cuenta con una pendiente aproximada de 13 %, ubicada en el interior de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Para el análisis de nivelación con taquimétrica se hizo necesario realizar un levantamiento de control y comparación, y por medio de un levantamiento de nivelación diferencial se hizo el control del análisis, utilizando para este, un nivel de precisión marca Sokkia serie C31, cuyas especificaciones se encuentran en el anexo 5.

La figura 32 muestra un croquis de la ubicación en la que este levantamiento se llevó a cabo, utilizando un norte arbitrario para la orientación de este.

Figura 32. Ubicación de medición de niveles

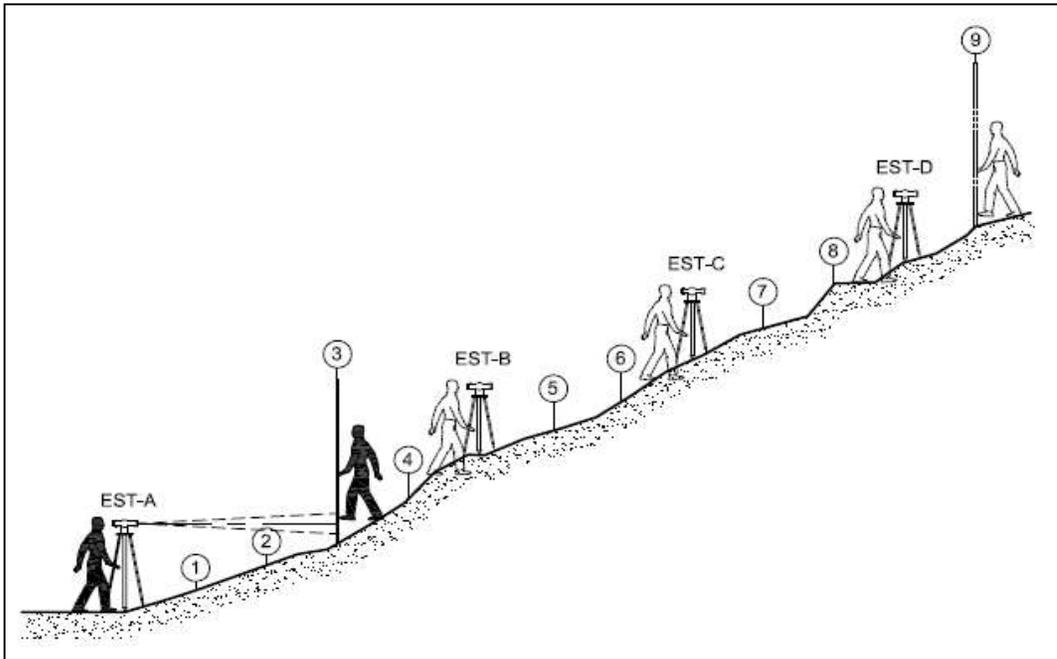


Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD 2010.

Para la nivelación diferencial fue necesario el estacionamiento del nivel de precisión en cuatro diferentes puntos o estaciones, identificándolos con las letras de la "A" a la "D", según el orden en que se realizó el levantamiento.

El BM (banco de marca) se asignó de forma arbitraria en el punto "1", eligiendo como punto de nivelación fijo una tapadera de drenaje, ubicada donde lo muestra la figura 32. El croquis de levantamiento se muestra en la figura 33.

Figura 33. **Croquis nivelación diferencial**



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD 2010.

La medición de niveles por método diferencial se realizó desde la parte baja hacia arriba y se asignaron los números de los puntos a observar del 1 al 9. De la estación "A" se visó hacia los puntos del "1" al "3"; de la estación "B" se visaron los puntos del "3" al "6"; de la estación "C" se visaron los puntos del "6" al "8"; de la estación "D" se visaron los puntos "8" y "9". El punto 1 se designó como banco de marca (BM) y los puntos 3, 6 y 8 fueron utilizados como puntos de vuelta (PV). La duración del trabajo en campo del levantamiento fue de 40 minutos de tiempo de trabajo.

Los resultados de la medición se muestran en la siguiente libreta de campo en la tabla X.

Tabla X. **Libreta de campo de nivelación diferencial**

Est.	PO	DH (m)	Vista atrás (+)	HI (cota+VA)	Vista Int. (-)	Pto. de vuelta (-)	Cota PO
A	1[BM]	3,450	1,385	101,385			100,000
A	2	5,350		101,385	0,832		100,553
A	3	7,100		101,385		0,399	100,986
B	3[PV]	5,564	2,569	103,555			100,986
B	4	2,940		103,555	1,647		101,908
B	5	7,545		103,555	0,847		102,708
B	6	11,840		103,555		0,238	103,317
C	6[PV]	4,985	1,888	105,205			103,317
C	7	5,400		105,205	0,798		104,407
C	8	11,115		105,205		0,095	105,110
D	8[PV]	5,400	2,456	107,566			105,110
D	9	5,900		107,566	0,895		106,671

Fuente: elaboración propia.

Para el cálculo de los niveles se realizaron los procedimientos de gabinete pertinentes a la nivelación diferencial, utilizando las siguientes expresiones para calcular el nivel o cota de los puntos observados:

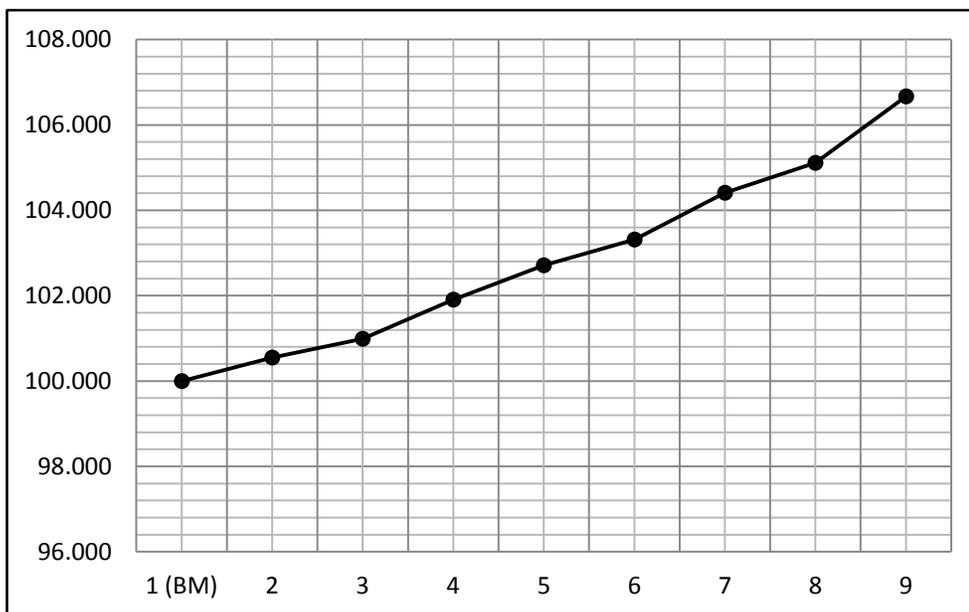
$$COTA_{po_i} = HI - VI$$

$$COTA_{po_i} = HI - PV$$

El trabajo de gabinete para nivelación diferencial se realizó en 16 minutos y consistió en la digitalización de libreta de campo y cálculo de las cotas o niveles de los puntos, además de la realización de una gráfica representativa del perfil del terreno.

Los resultados se pueden visualizar en la misma tabla X con letra cursiva para las cotas calculadas y la figura 34 para la gráfica representativa del perfil; además se realizó el plano mostrado en el anexo 8 en formato A-3, el cual muestra el perfil de nivelación con escala vertical 1:50 y horizontal 1:200, manteniendo una relación 1:4 en las escalas, para visualizar de mejor manera las pendientes y cambios de nivel.

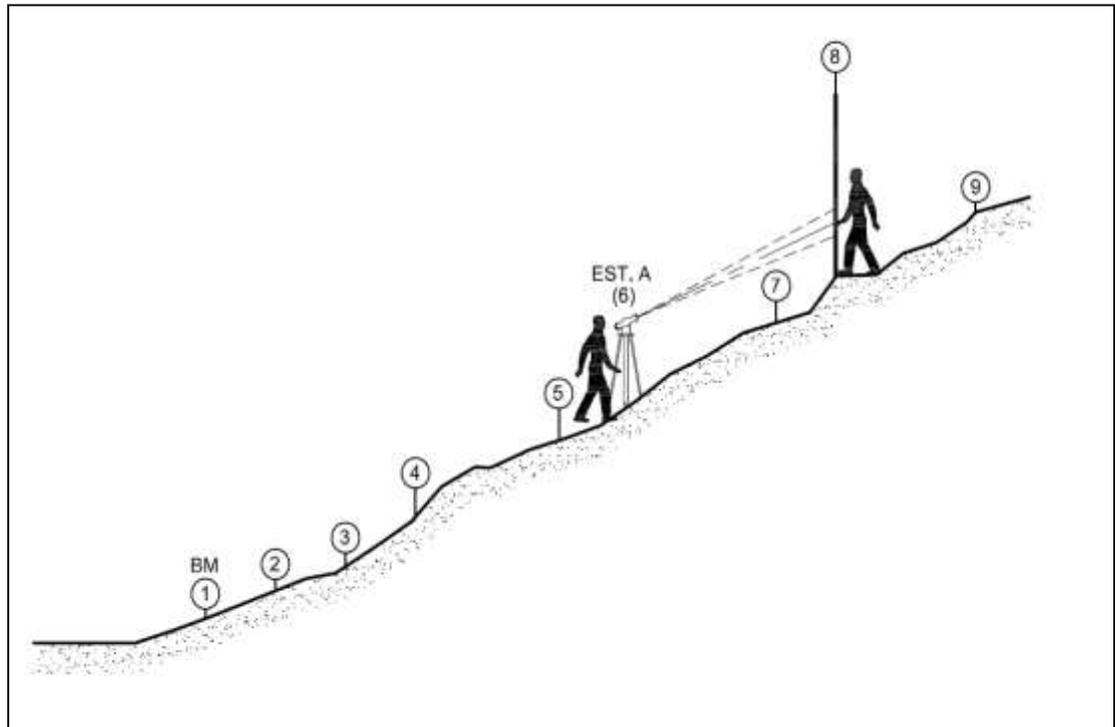
Figura 34. **Perfil de terreno por nivelación diferencial**



Fuente: elaboración propia.

La misma fracción de colina determinada con el método de nivelación diferencial fue medida por taquimetría, para lo cual, una única estación fue necesaria para visualizar todos los puntos en cuestión, la cual fue identificada con la letra "A"; siendo esta también uno de los puntos incluidos dentro de la línea de nivelación, desde la cual visaron los puntos que se identificaron del "1" al "9", tal como lo muestra el croquis en la figura 35.

Figura 35. **Croquis de nivelación por taquimetría**



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD 2010.

El tiempo de medición fue de 20 minutos y las observaciones notadas en la medición de distancias horizontales también tuvieron influencia en la medición de niveles.

Luego de varias mediciones se consideró que dos de los factores más críticos para la incidencia de equivocaciones son: la mala o incorrecta lectura de hilos estadimétricos y la colocación a desplomo del estadal. El resultado del levantamiento fue la libreta de campo que se muestra en la tabla XI.

Tabla XI. **Libreta de campo de nivelación por taquimetría**

Est.	PO	Altura de inst.	Hilos taquimétricos			Ángulo vertical
			Hilo inferior	Hilo medio	Hilo superior	
A	1 [BM]	1,580	1,442	1,550	1,656	99° 03' 55"
A	2	1,580	1,455	1,550	1,645	98° 23' 55"
A	3	1,580	1,464	1,550	1,642	97° 45' 15"
A	4	1,580	1,478	1,550	1,623	95° 42' 45"
A	5	1,580	1,528	1,550	1,572	98° 38' 50"
A	7	1,580	1,500	1,550	1,600	83° 57' 30"
A	8	1,580	1,475	1,550	1,625	83° 13' 20"
A	9	1,580	1,420	1,550	1,680	82° 34' 55"

Fuente: elaboración propia.

Con la libreta de campo se procedió a realizar el trabajo de gabinete, el cual consistió en la digitalización de los datos obtenidos en campo a una hoja electrónica, utilizando la ecuación 2.11 para calcular las diferencias de niveles y la ecuación 2.12 para las cotas o elevaciones. Primero se definió la cota de la estación A, que sería también la del punto 6. Esto se logra conociendo la diferencia de nivel entre este punto y el BM, utilizando la ecuación 2.11, donde la diferencia de nivel es la mitad del producto entre la constante de estadía (K), la lectura de hilos y el seno de dos veces el ángulo cenital:

$$V = 0,5 \times (K \times \text{Lectura de Hilos} \times \sin(2 \times (\text{ANG. VERT})))$$

$$V = 0,5 \times (100 \times 0,214 \times \sin(2 \times (99^\circ 03' 55''))) = -3,330$$

Para calcular la cota de la estación se utiliza la expresión 2.12:

$$COTA\ EST.\ A = COTA\ BM - V + HILO\ MEDIO - Altura\ de\ inst.$$

$$COTA\ EST.\ A = 100,000 - (-3,330) + 1,550 - 1,580 = 103,300$$

Al conocer la cota de la estación, se continúa calculando las diferencias de niveles entre la estación y los puntos observados con la ecuación 2.11, y utilizando la ecuación 2.12 se definen las cotas de los puntos; por ejemplo, para calcular la cota del punto 2, se llevaría el siguiente procedimiento:

$$V = 0,5 \times 100 \times 0,19 \times \sin (2 \times (98^{\circ} 23' 55'')) = -2,745$$

$$COTA PO-8 = 103,300 + (-2,745) - 1,550 + 1,580 = 100,585$$

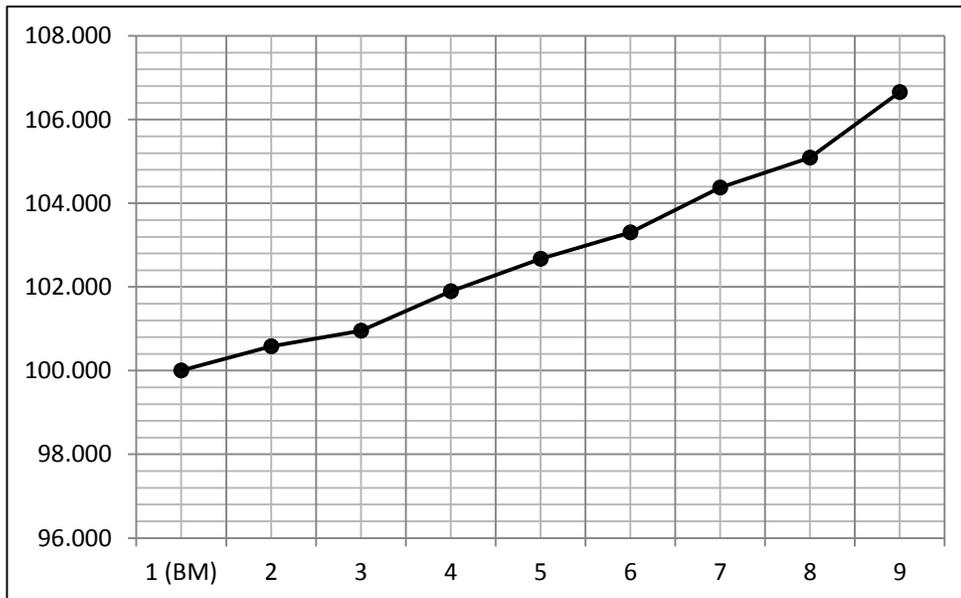
El tiempo para realizar las tareas de gabinete fue de 14 minutos. Según los resultados del levantamiento fueron obtenidas la libreta final expuesta en la tabla XII y la gráfica representativa de la configuración del perfil del terreno (figura 36); además se realizó el plano mostrado en el anexo 9 en formato A-3.

Tabla XII. **Libreta final de nivelación por taquimetría**

Punto	Cota
1	100,000
2	100,585
3	100,950
4	101,894
5	102,676
6	103,300
7	104,376
8	105,088
9	106,658

Fuente: elaboración propia.

Figura 36. **Perfil de terreno por nivelación taquimétrica**



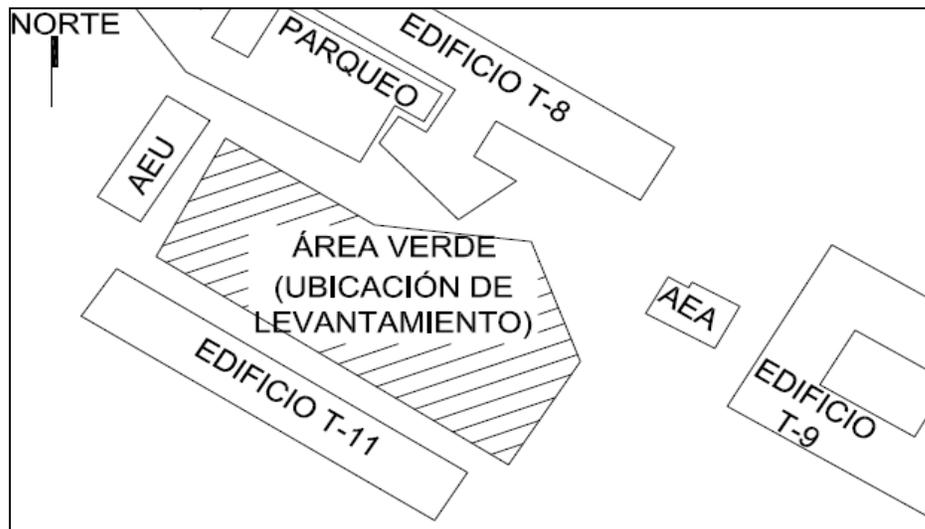
Fuente: elaboración propia.

Aun cuando aparentemente los perfiles de la figura 34 y 36, o de los mostrados en los planos de los anexos 8 y 9, respectivamente, son similares, las diferencias entre los niveles obtenidos con el método diferencial y los taquimétricos, son significativas, variando en un rango entre los 0,013 m y los 0,036 m, con una media de 0,022 m.

4.3. Levantamiento de polígonos

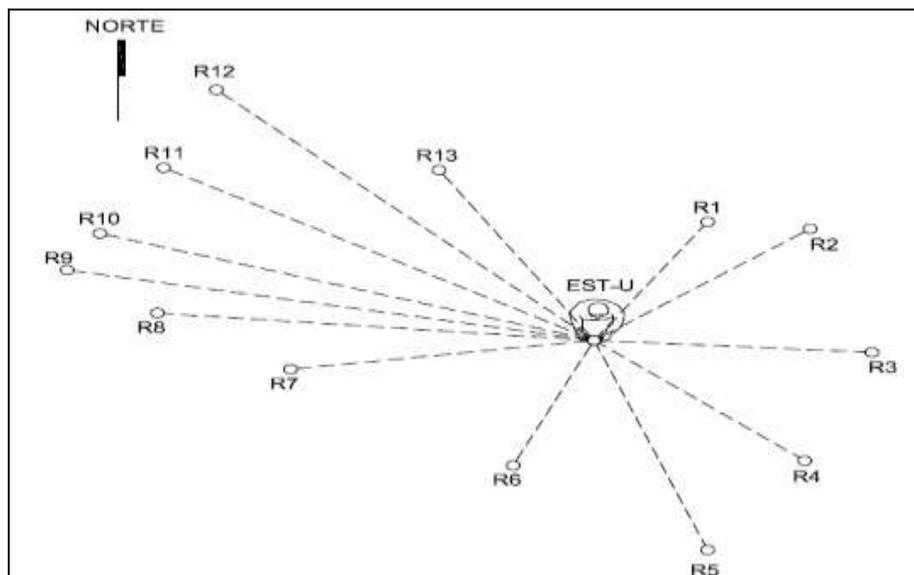
Para esta aplicación de taquimetría se tuvo la consideración del levantamiento de dos polígonos, uno por el método de radiaciones y otro por el de conservación del azimut. La ubicación del primer polígono se realizó dentro de la Universidad de San Carlos, según lo muestra la figura 37, el cual tomó como referencia un norte arbitrario para su orientación.

Figura 37. **Ubicación de levantamiento de polígono por radiaciones**



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD 2010.

Figura 38. **Croquis polígono por radiaciones**



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD 2010.

La figura 38 muestra el croquis del levantamiento para el cual se utilizó una única estación, identificándola con la letra “U”, desde la cual se realizaron trece radiaciones hacia los puntos que delimitaban el polígono en cuestión, enumerando cada una de las radiaciones de la “R1” a la “R13”, para identificarlas como radiaciones.

El tiempo de trabajo de campo para el polígono por radiaciones fue de 18 minutos y la tabla XIII muestra la libreta de campo obtenida como resultado del levantamiento.

Tabla XIII. **Libreta de campo de polígono por radiaciones taquimétricas**

Est.	PO	Azimut	Hilos taquimétricos			Ángulo vertical
			Hilo inferior	Hilo medio	Hilo superior	
U	R1	23° 07' 55"	1,400	1,520	1,640	88° 44' 55"
U	R2	39° 06' 00"	1,400	1,542	1,684	88° 50' 05"
U	R3	81° 32' 50"	1,376	1,500	1,622	89° 10' 20"
U	R4	119° 39' 25"	1,403	1,500	1,597	89° 44' 15"
U	R5	158° 43' 50"	1,384	1,500	1,616	89° 25' 30"
U	R6	223° 12' 25"	1,400	1,469	1,538	91° 21' 50"
U	R7	274° 43' 45"	1,400	1,550	1,700	89° 53' 20"
U	R8	283° 40' 40"	1,400	1,612	1,828	89° 39' 50"
U	R9	287° 43' 45"	1,400	1,664	1,929	89° 24' 30"
U	R10	293° 47' 40"	1,400	1,660	1,920	89° 20' 20"
U	R11	305° 16' 35"	1,400	1,658	1,911	89° 19' 55"
U	R12	317° 36' 45"	1,400	1,671	1,942	89° 24' 00"
U	R13	331° 29' 35"	1,400	1,566	1,732	89° 05' 35"

Fuente: elaboración propia.

Tomando de referencia la libreta de campo del polígono por radiaciones taquimétricas, se realizó el trabajo de gabinete consistente en la digitalización de los datos obtenidos en una hoja electrónica.

Como resultado del trabajo de gabinete se obtuvo la libreta final del polígono que se muestra en la tabla XIV. La distancia horizontal se calculó con la ecuación 2.9, y el rumbo entre puntos por medio de razones trigonométricas luego de haber calculado las coordenadas parciales de cada uno de los puntos. De igual manera se trazó el polígono final que se muestra en la figura 39, con ayuda de los datos obtenidos de la libreta final y el software de dibujo asistido por computadora, AutoCAD.

El trabajo de gabinete se realizó en 24 minutos y el resultado derivó en la tabla XV y figura 39, además del plano de registro mostrado en el anexo 10 en formato A-4.

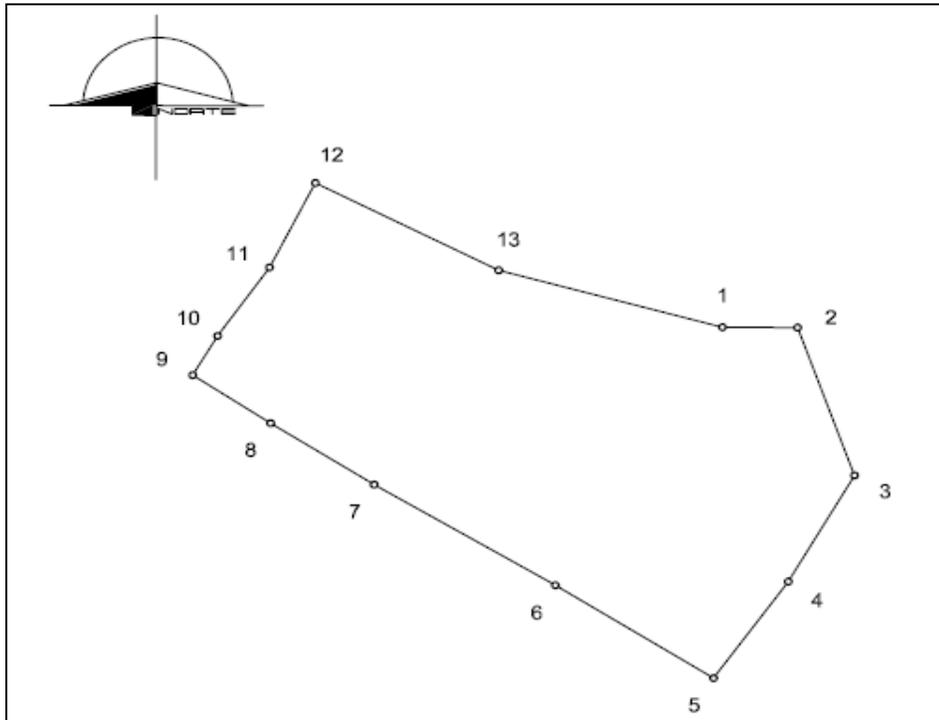
Tabla XIV. **Libreta final de polígono por radiaciones taquimétricas**

Est.	PO	Rumbo	DHz (m)
1	2	S 89° 48' 06" E	08,480
2	3	S 19° 13' 50" E	19,504
3	4	S 29° 28' 38" W	15,179
4	5	S 35° 05' 20" W	14,688
5	6	N 57° 04' 22" W	21,275
6	7	N 58° 31' 03" W	23,986
7	8	N 56° 48' 12" W	13,966
8	9	N 55° 45' 46" W	10,641
9	10	N 29° 58' 28" E	05,622
10	11	N 34° 29' 55" E	10,351
11	12	N 26° 11' 59" E	11,725
12	13	S 62° 18' 30" E	23,370
13	1	S 74° 17' 16" E	26,246

Fuente: elaboración propia.

El área del polígono de la figura 39 se obtuvo utilizando las coordenadas de cada uno de los puntos, resultando 2 337,901 m².

Figura 39. **Polígono por radiaciones taquimétricas**



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD 2010.

El análisis de levantamientos de polígonos por taquimetría hizo necesario que se realizara un levantamiento por medio del método de conservación del azimut, utilizando los procedimientos generales descritos.

El levantamiento del polígono se realizó dentro de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en la ubicación que muestra la figura 40.

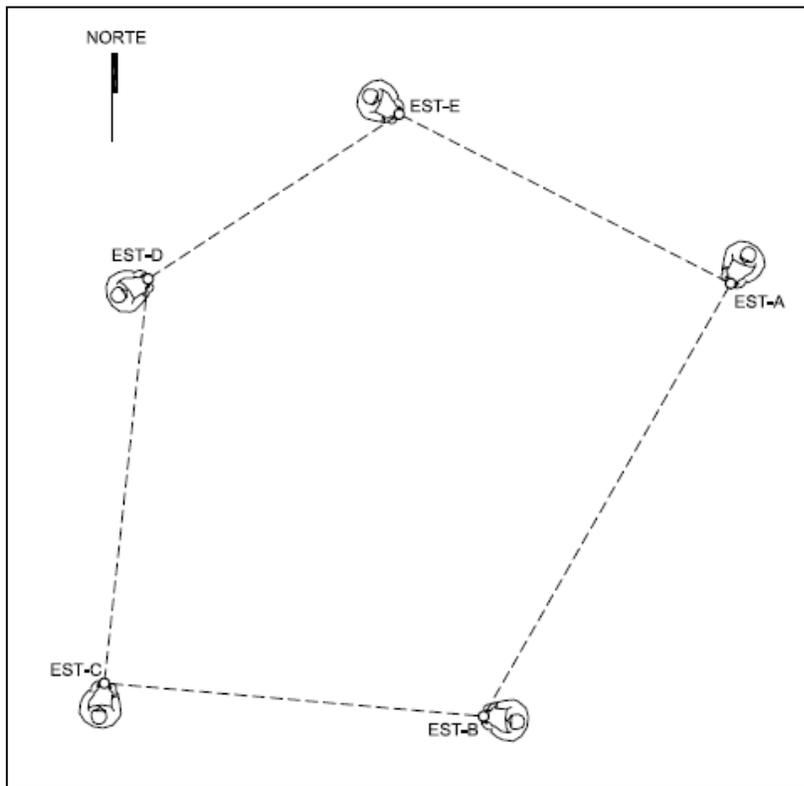
Figura 40. **Ubicación de levantamiento de polígono por conservación del azimut del azimut**



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD 2010.

Para el levantamiento del polígono por conservación del azimut se necesitaron cinco estacionamientos del teodolito, que fueron identificados con las letras de la "A" a la "E", según el orden en que se efectuó el levantamiento, cuidando que la secuencia del levantamiento del polígono se realizara a favor de las agujas del reloj, tal como lo muestra el croquis en la figura 41.

Figura 41. **Croquis de polígono por conservación del azimut**



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD 2010.

Para la medición de este polígono se tomaron en cuenta todas las consideraciones citadas; el tiempo de trabajo de campo para el polígono por conservación del azimut fue de 35 minutos.

Como resultado del levantamiento y trabajo de campo se obtuvo la libreta que se muestra en la tabla XV.

Tabla XV. **Libreta de campo de polígono por conservación del azimut y taquimetría**

Est.	PO	Azimut	Hilos taquimétricos			Ángulo vertical (γ)
			Hilo inferior	Hilo medio	Hilo superior	
A	B	215° 06' 30"	1,400	1,620	1,840	90° 35' 50"
B	C	275° 36' 55"	1,400	1,546	1,692	89° 45' 35"
C	D	16° 42' 30"	1,311	1,500	1,686	90° 26' 20"
D	E	45° 11' 30"	1,400	1,525	1,650	91° 08' 35"
E	A	127° 49' 55"	1,500	1,666	1,832	88° 15' 55"
A'	B'	215° 06' 30"	1,400	1,620	1,840	90° 35' 50"

Fuente: elaboración propia.

Para dar continuidad con el procedimiento del cálculo de errores y su compensación en el polígono, se realizó la verificación del error de cierre angular, obtenido de la diferencia entre el ángulo acimutal de inicio y el de verificación de cierre, comprobando que la diferencia entre estos no supere la tolerancia admisible de $T=a\sqrt{n}$ donde "a" es la mínima lectura angular del instrumento y "n" el número de vértices en el polígono; en este caso, entonces, $T=(0^{\circ}0'5")(\sqrt{5}) = 0^{\circ}0'11.18"$. La tabla XVI muestra los datos para la verificación del cierre angular.

Tabla XVI. **Verificación de cierre angular de polígono por taquimetría**

Est.	PO	Azimut
A	B	215° 06' 30"
A'	B'	215° 06' 30"
Diferencia		0° 00' 00" < T

Fuente: elaboración propia.

Con base en la libreta de campo se calculó la libreta final del polígono, utilizando la ecuación 2.9 para el cálculo de distancias horizontales y el método de Pensilvania para determinar error de cierre, su compensación y el área del polígono, como lo muestran las tablas XVII, XVIII y XIX.

Tabla XVII. **Paso 1: método de Pensilvania para polígono por taquimetría**

Est.	PO	DHz (Taquimetría)	xp [DHz*sen(γ)]	yp [DHz*cos(γ)]
A	B	43,995	-25,303	-35,991
B	C	29,199	-29,059	2,857
C	D	37,498	10,781	35,915
D	E	24,990	17,730	17,611
E	A	33,170	26,198	-20,344
	Δ		0,346	0,048
	Σ	168,852	109,070	112,719

<p>Error de cierre: $\sqrt{((\Delta xp)^2 + (\Delta yp)^2)} = 0,349$ Error unitario: $(\text{Error de cierre} / \Sigma \text{DHz}) = 0,002$ Fcx: $\Delta xp / \Sigma xp = 0,00317$; Fcy: $\Delta yp / \Sigma yp = 0,000423$</p>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Paso 2: método de Pensilvania para polígono por taquimetría**

Est.	PO	xpc [xp+(Fxp*xp)]	ypc [yp+(Fyp*yp)]	Xtc _{est} [xpc+Xtc _{po}]	Ytc _{est} [ypc+Ytc _{po}]
A	B	-25,383	-36,006	0,000	0,000
B	C	-29,152	2,856	-25,383	-36,006
C	D	10,746	35,899	-54,535	-33,150
D	E	17,673	17,603	-43,788	2,749
E	A	26,115	-20,353	-26,115	20,353

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Paso 3: método de Pensilvania para polígono por taquimetría**

Est.	PO	DDM [Xtc _{est} +Xtc _{po}]	DDE [Ytc _{est} +Ytc _{po}]	DDM*ypc	DDE*xpc	
A	B	-25,383	-36,006	913,945	913,945	
B	C	-79,917	-69,157	-228,237	2 016,020	
C	D	-98,323	-30,401	-3 529,728	-326,704	
D	E	-69,903	23,102	-1 230,566	408,295	
E	A	-26,115	20,353	531,514	531,514	
				Δ	-3 543,071	3 543,071

Área: $\Delta(DDx*ypc)/2 = 1\ 771,536\ m^2$

Fuente: elaboración propia.

El trabajo de gabinete se realizó en 23 minutos; el área que se logró determinar para el polígono fue de 1 771,536 m²; se obtuvo error de cierre de 0,349 m y error unitario de 0,002 m/m, admisible según el criterio de mínimo error unitario de 0,003 m/m, según el artículo 35 de la Ley Reglamentaria para Trabajos de Agrimensura.

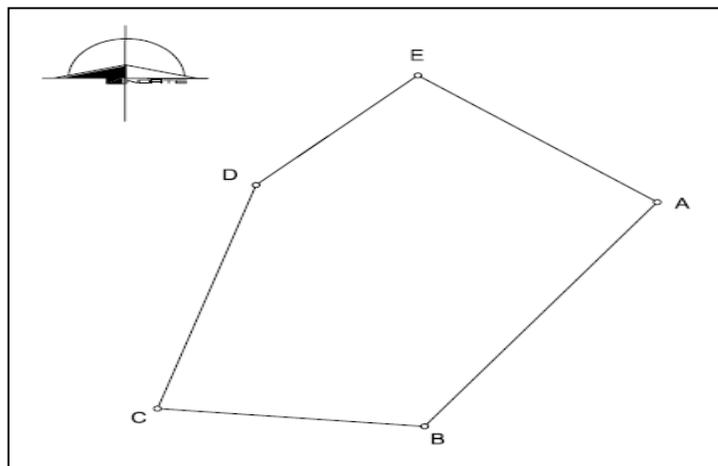
La tabla XX y la figura 42 muestran la libreta topográfica final y el dibujo del levantamiento de polígono, utilizando el método de conservación del azimut y taquimetría; además, se realizó el plano de registro en formato A-4 que se muestra en el anexo 11.

Tabla XX. **Libreta final de polígono por conservación del azimut y taquimetría**

Est.	PO	Rumbo	DHz (m)
A	B	S 35° 10' 56" E	44,054
B	C	N 84° 24' 17" W	29,291
C	D	N 16° 39' 54" E	37,473
D	E	N 45° 06' 46" E	24,945
E	A	S 52° 04' 05" E	33,109

Fuente: elaboración propia.

Figura 42. **Polígono por conservación del azimut y taquimetría**



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD 2010.

Aun cuando la rapidez de un levantamiento por radiaciones permite levantar polígonos más grandes en menor tiempo, su uso no es muy recomendable, ya que no existe forma de compensar errores, e incluso algunas equivocaciones podrían pasarse por alto sin siquiera notarlas; por otro lado, un polígono levantado por método de conservación del azimut puede ser verificado por errores de cierre y compensar este error.

4.4. Replanteo de tramo vial por taquimetría

El objetivo de esta aplicación se basa en analizar la medición de curvas horizontales de carreteras por medio de la implementación de taquimetría y evaluar la utilización de este método para el replanteo de caminos para proyectos de recapeo vial, adoquinamiento o similares y la elaboración de estudios de prefactibilidad para proyectos de este tipo.

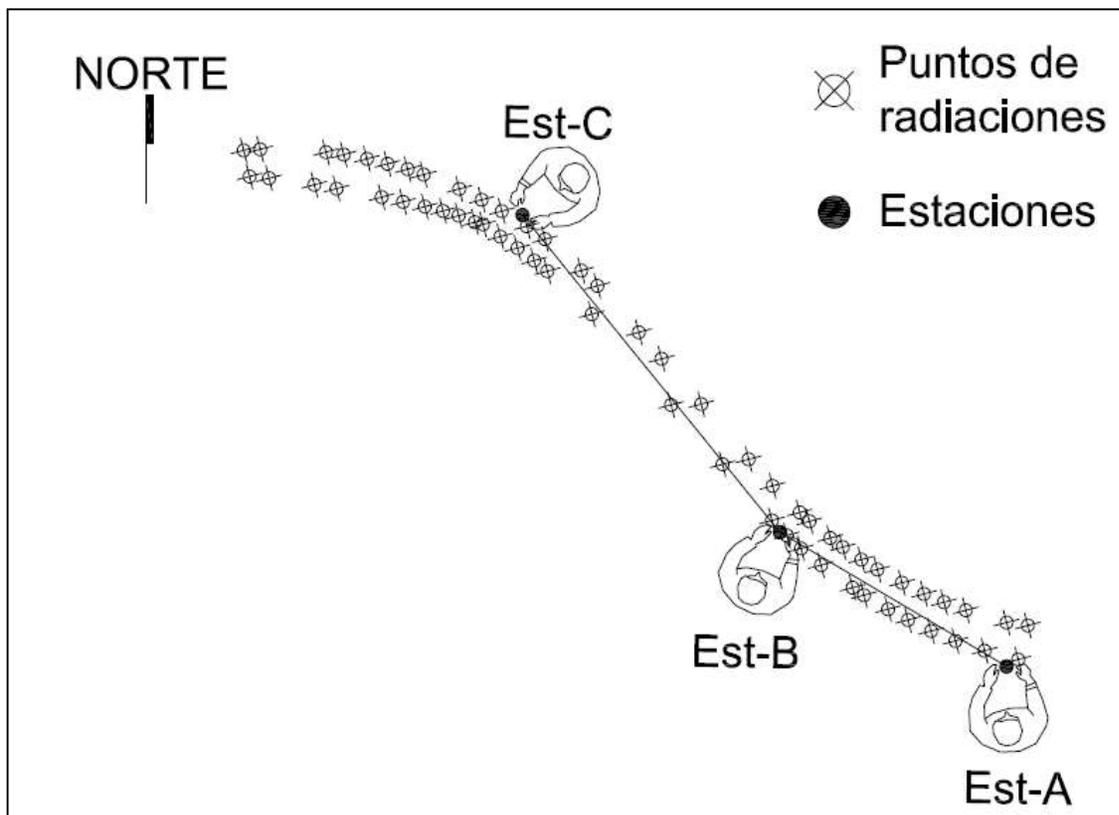
Figura 43. Ubicación del levantamiento de replanteo de tramo vial



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD 2010.

Se realizó el levantamiento de replanteo dentro del periférico del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, como lo muestra la figura 43. Para el levantamiento en cuestión se utilizaron tres estaciones, las cuales se identificaron con las letras A, B y C. Desde estos puntos se realizaron cincuenta y ocho radiaciones en un tiempo de trabajo de 1 hora y 20 minutos, asignando una coordenada de referencia asumida para la estación A de $X = 500$, $Y = 500$ y $Z = 500$. La figura 44 muestra el croquis de levantamiento y la tabla XXI la libreta de campo, resultado del levantamiento.

Figura 44. **Croquis de replanteo de tramo vial con taquimetría**



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD 2010.

Tabla XXI. **Libreta de campo de replanteo de tramo vial con taquimetría**

Est.	PO	Azimut	Hilos taquimétricos			Ángulo vertical
			Hilo inferior	Hilo medio	Hilo superior	
A	R1	59° 14' 20"	1,400	1,418	1,436	92° 01' 05"
A	R2	305° 11' 10"	1,400	1,436	1,472	92° 52' 35"
A	R3	296° 20' 20"	1,400	1,476	1,552	92° 03' 30"
A	R4	294° 57' 15"	1,400	1,511	1,622	91° 53' 10"
A	R5	295° 05' 30"	1,400	1,545	1,690	91° 42' 50"
A	R6	295° 35' 5"	1,400	1,575	1,750	91° 39' 45"
A	R7	296° 19' 50"	1,400	1,612	1,824	91° 36' 20"
A	R8	296° 52' 15"	1,400	1,630	1,860	91° 35' 50"
A	R9	298° 25' 25"	1,400	1,681	1,962	91° 35' 55"
A	R10	299° 38' 20"	1,400	1,715	2,030	91° 30' 10"
A	R11	300° 34' 10"	1,400	1,740	2,080	91° 30' 50"
A	R12	306° 24' 20"	0,214	0,558	0,900	92° 43' 40"
A	R13	306° 06' 55"	0,549	0,872	1,200	92° 31' 10"
A	R14	305° 48' 45"	0,700	0,990	1,280	92° 30' 30"
A	R15	305° 48' 45"	0,800	1,069	1,339	92° 29' 00"
A	R16	306° 03' 55"	1,400	1,640	1,879	91° 54' 30"
A	R17	306° 37' 15"	1,400	1,614	1,829	91° 56' 40"
A	R18	308° 22' 00"	1,400	1,578	1,756	92° 02' 55"
A	R19	311° 01' 35"	1,400	1,546	1,692	92° 09' 05"
A	R20	315° 29' 25"	1,400	1,519	1,638	92° 16' 00"
A	R21	323° 46' 15"	1,400	1,542	1,584	92° 27' 05"
A	R22	0° 02' 45"	1,400	1,458	1,516	92° 23' 15"
A	R23	27° 40' 40"	1,400	1,461	1,522	91° 33' 05"
A	B	300° 23' 50"	1,400	1,750	2,100	91° 37' 00"
B	R24	350° 51' 20"	1,400	1,452	1,524	91° 46' 35"
B	R25	336° 33' 05"	1,400	1,505	1,610	91° 30' 10"
B	R26	328° 10' 40"	1,400	1,599	1,798	91° 10' 30"
B	R27	325° 24' 35"	1,400	1,678	1,956	91° 01' 50"
B	R28	324° 31' 30"	1,400	1,724	2,048	90° 59' 10"
B	R29	323° 11' 30"	1,400	1,805	2,212	90° 53' 30"
B	R30	322° 31' 45"	1,400	1,835	2,270	90° 51' 05"
B	R31	321° 01' 10"	1,400	1,895	2,395	90° 48' 55"
B	R32	320° 07' 45"	1,400	1,926	2,452	90° 47' 55"

Continuación de la tabla XXI.

B	R33	319° 10' 05"	1,400	1,622	1,844	91° 19' 30"
B	R34	319° 32' 20"	1,400	1,518	1,636	91° 34' 30"
B	R35	325° 50' 25"	1,400	1,419	1,438	92° 00' 50"
B	C	320° 39' 35"	1,400	1,941	2,482	90° 46' 05"
C	R36	144° 46' 40"	1,400	1,560	1,720	89° 39' 35"
C	R37	155° 50' 05"	1,400	1,481	1,562	90° 26' 05"
C	R38	165° 26' 30"	1,400	1,462	1,524	90° 55' 45"
C	R39	188° 37' 00"	1,400	1,444	1,488	91° 52' 00"
C	R40	226° 04' 10"	1,400	1,441	1,482	92° 35' 55"
C	R41	256° 55' 00"	1,400	1,454	1,508	92° 15' 20"
C	R42	261° 36' 40"	1,400	1,464	1,528	92° 00' 40"
C	R43	269° 34' 45"	1,400	1,485	1,570	91° 44' 20"
C	R44	272° 56' 20"	1,400	1,506	1,612	91° 28' 30"
C	R45	274° 56' 10"	1,400	1,530	1,661	91° 17' 30"
C	R46	276° 15' 50"	1,400	1,560	1,720	91° 10' 45"
C	R47	277° 13' 40"	1,400	1,589	1,778	91° 03' 35"
C	R48	278° 01' 15"	1,400	1,650	1,900	90° 55' 10"
C	R49	278° 13' 50"	1,400	1,680	1,960	90° 51' 45"
C	R50	278° 12' 40"	0,800	1,141	1,482	91° 20' 10"
C	R51	277° 58' 35"	0,800	1,167	1,534	91° 17' 50"
C	R52	282° 57' 00"	0,800	1,181	1,562	91° 04' 15"
C	R53	283° 56' 55"	0,800	1,160	1,520	91° 05' 40"
C	R54	287° 36' 50"	1,400	1,671	1,949	90° 40' 50"
C	R55	288° 33' 05"	1,400	1,651	1,902	90° 40' 20"
C	R56	289° 43' 35"	1,400	1,620	1,840	90° 41' 45"
C	R57	290° 38' 55"	1,400	1,592	1,784	90° 43' 35"
C	R58	291° 38' 05"	1,400	1,564	1,729	90° 48' 40"

Fuente: elaboración propia.

Utilizando los datos de libreta de campo se calcularon las coordenadas de todos los puntos por medio de la digitalización de estos en una hoja electrónica, luego se trazó y dibujó la línea central para obtener la libreta topográfica final del levantamiento que se muestra en la tabla XXII y la figura 45 como resultado

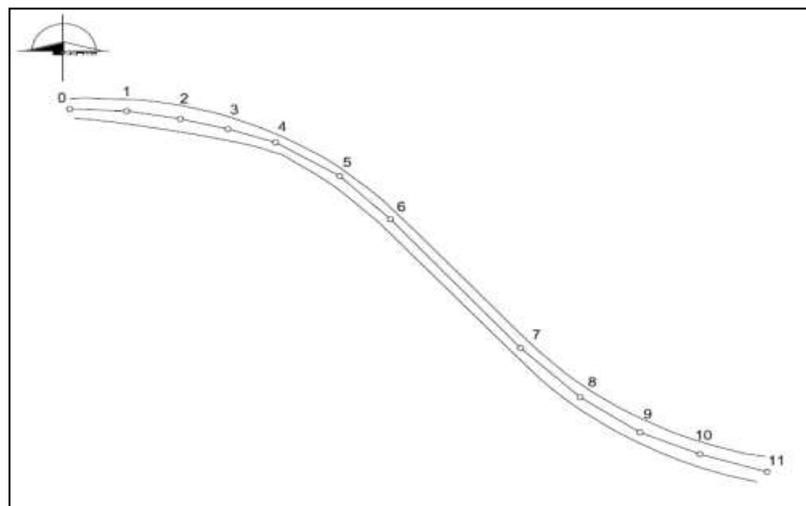
final. Todo este proceso de trabajo de gabinete tomó 55 minutos de tiempo de trabajo; además se realizó el plano en formato A-3 mostrado en el anexo 12.

Tabla XXII. **Libreta final de replanteo de tramo vial con taquimetría**

Est.	PO	Rumbo	DHz (m)
0	1	S 87° 52' 34" E	17,08
1	2	S 80° 12' 04" E	16,39
2	3	S 76° 01' 34" E	14,73
3	4	S 71° 50' 57" E	15,03
4	5	S 58° 29' 22" E	22,56
5	6	S 45° 15' 08" E	21,50
6	7	S 40° 49' 26" E	59,69
7	8	S 46° 10' 04" E	24,85
8	9	S 55° 21' 57" E	21,79
9	10	S 67° 04' 27" E	19,58
10	11	S 72° 49' 21" E	21,05

Fuente: elaboración propia.

Figura 45. **Planta de replanteo vial con taquimetría**

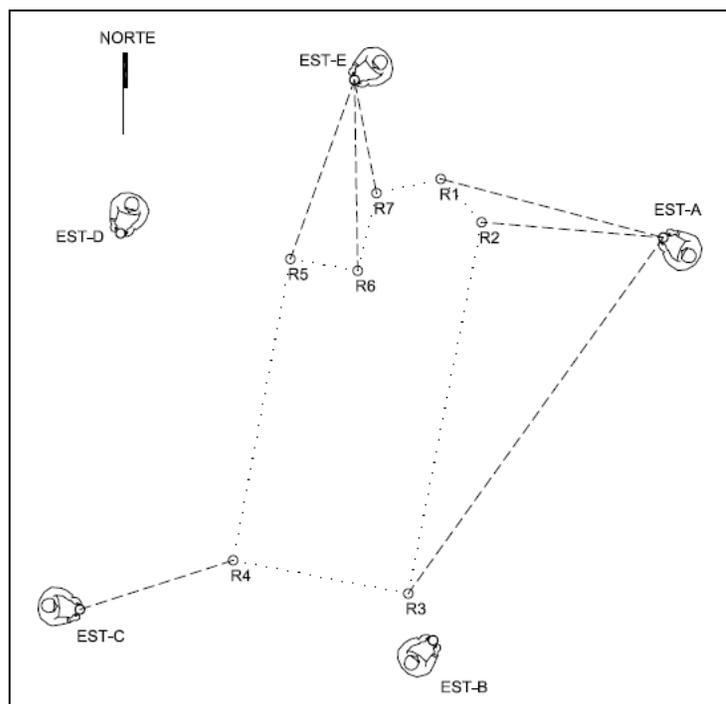


Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD 2010.

4.5. Levantamiento de obra terminada

Por medio de un polígono auxiliar, mostrado en la tabla XX y figura 42, se realizaron radiaciones taquimétricas para determinar el contorno de un edificio, ubicando y utilizando como referencia para un levantamiento de obra terminada.

Figura 46. Croquis de levantamiento de obra terminada



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD 2010.

El levantamiento consistió en la medición de siete radiaciones, enumeradas de “R1” a “R7”, realizadas desde la estación A, C y E del polígono auxiliar, como lo muestra el croquis de levantamiento en la figura 46, orientadas con un norte arbitrario definido para el levantamiento.

Como resultado del levantamiento se obtuvo la libreta de campo mostrada en la tabla XXIII.

Tabla XXIII. **Libreta de campo de obra terminada con taquimetría**

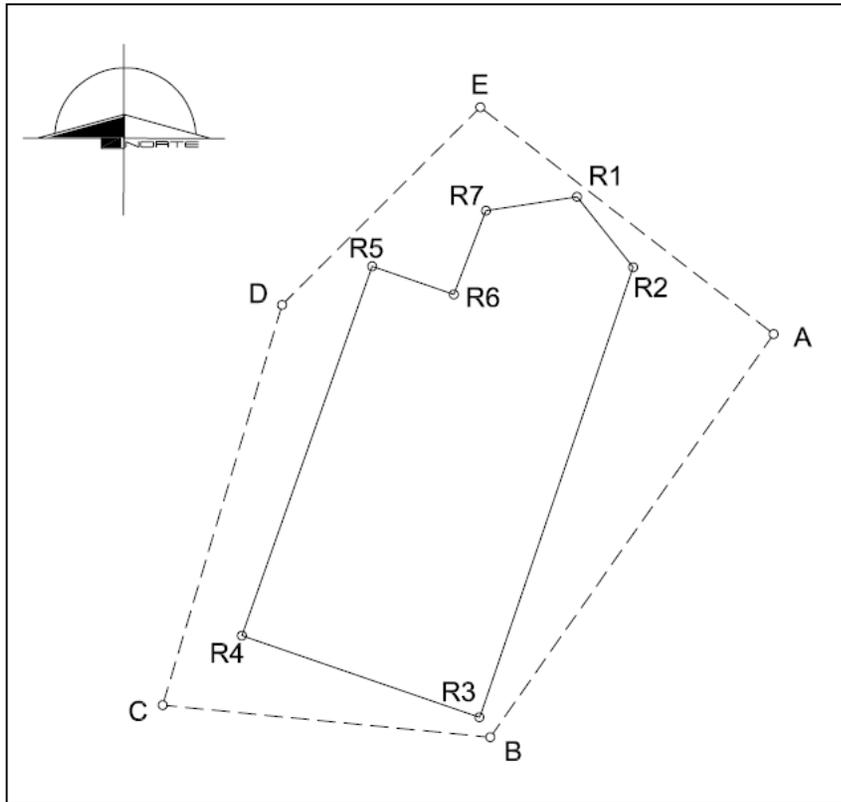
Est.	PO	Azimut	Hilos taquimétricos			Ángulo vertical
			Hilo inferior	Hilo medio	Hilo superior	
A	R1	304° 45' 25"	1,400	1,508	1,616	88° 40' 30"
A	R2	295° 26' 00"	1,329	1,400	1,469	88° 50' 00"
A	R3	217° 32' 45"	1,400	1,615	1,830	89° 51' 15"
A	B	215° 06' 30"	1,400	1,620	1,840	90° 35' 50"
B	C	275° 36' 55"	1,400	1,546	1,692	89° 45' 35"
C	R4	48° 41' 10"	1,452	1,500	1,548	88° 04' 40"
C	D	16° 42' 30"	1,311	1,500	1,686	90° 26' 20"
D	E	45° 11' 30"	1,400	1,525	1,650	91° 08' 35"
E	R5	214° 19' 25"	1,400	1,486	1,572	91° 36' 00"
E	R6	188° 16' 20"	1,400	1,484	1,568	91° 35' 55"
E	R7	176° 48' 35"	1,400	1,446	1,492	92° 53' 35"
E	A	127° 49' 55"	1,500	1,666	1,832	88° 15' 55"

Fuente: elaboración propia.

El tiempo para la ejecución de este levantamiento fue de 40 minutos junto con el polígono y las radiaciones que se realizaron para la ubicación del edificio.

Con la libreta topográfica se calcularon las distancias horizontales de las radiaciones y se trazó en el software de dibujo asistido por computadora, AutoCAD, el dibujo del levantamiento mostrado en la figura 47; además se realizó un plano en formato A-3, que se muestra en el anexo 13. El tiempo de trabajo de gabinete fue de 33 minutos.

Figura 47. Levantamiento de obra terminada con taquimetría



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD 2010.

4.6. Curvas de nivel

En la misma localización utilizada para el levantamiento de nivelación, se realizó una aplicación de levantamiento de curvas de nivel con taquimetría. Se tomaron mediciones en los puntos considerados necesarios para lograr la representación del terreno por medio de curvas de nivel, para lo cual, se realizaron radiaciones desde una misma estación, como lo muestra el croquis de levantamiento en la figura 48.

Figura 48. Croquis de levantamiento de curvas de nivel



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD 2010.

Desde la estación U se realizaron 24 radiaciones enumeradas de forma correlativa del número 1 al 24, en puntos que se consideraron necesarios para una correcta representación por medio de curvas de nivel del terreno.

Los datos obtenidos durante el levantamiento se representaron en la libreta de campo mostrada en la tabla XXIV.

Tabla XXIV. **Libreta de campo de curvas de nivel con taquimetría**

Est.	PO	Azimut	Hilos taquimétricos			Ángulo vertical
			Hilo inferior	Hilo medio	Hilo superior	
U	1	241° 54' 25"	1,426	1,550	1,676	98° 11' 10"
U	2	244° 37' 55"	1,442	1,550	1,656	99° 03' 55"
U	3	240° 52' 10"	1,455	1,550	1,645	98° 23' 55"
U	4	240° 39' 10"	1,464	1,550	1,642	97° 51' 15"
U	5	257° 29' 30"	1,400	1,456	1,512	97° 30' 40"
U	6	239° 36' 20"	1,478	1,550	1,623	95° 42' 45"
U	7	245° 36' 60"	1,490	1,550	1,610	96° 22' 05"
U	8	328° 12' 35"	0,700	0,772	0,844	98° 05' 10"
U	9	195° 19' 35"	1,200	1,247	1,294	98° 07' 30"
U	10	242° 36' 40"	1,400	1,452	1,504	95° 33' 30"
U	11	131° 49' 35"	1,528	1,550	1,572	98° 38' 50"
U	12	230° 00' 10"	1,647	1,700	1,753	90° 53' 20"
U	13	03° 44' 40"	1,300	1,356	1,412	90° 55' 00"
U	14	61° 14' 55"	1,526	1,550	1,574	85° 40' 00"
U	15	20° 07' 15"	1,150	1,206	1,262	87° 20' 35"
U	16	59° 11' 15"	1,500	1,550	1,600	84° 04' 30"
U	17	93° 17' 50"	0,250	0,306	0,362	89° 13' 30"
U	18	45° 11' 20"	1,450	1,523	1,596	83° 50' 00"
U	19	94° 53' 05"	1,200	1,300	1,400	86° 05' 10"
U	20	60° 51' 10"	1,475	1,550	1,625	83° 15' 30"
U	21	77° 11' 50"	0,500	0,626	0,752	86° 06' 10"
U	22	58° 58' 55"	1,450	1,550	1,650	82° 14' 20"
U	23	43° 59' 45"	0,350	0,463	0,576	85° 27' 15"
U	24	59° 16' 00"	1,420	1,550	1,680	82° 44' 00"

Fuente: elaboración propia.

Con los datos de la tabla XXIV se calcularon las coordenadas de cada punto medido por medio de una hoja electrónica y utilizando el software AutoCAD Civil 3D Land Desktop se trazaron las curvas de nivel respectivas.

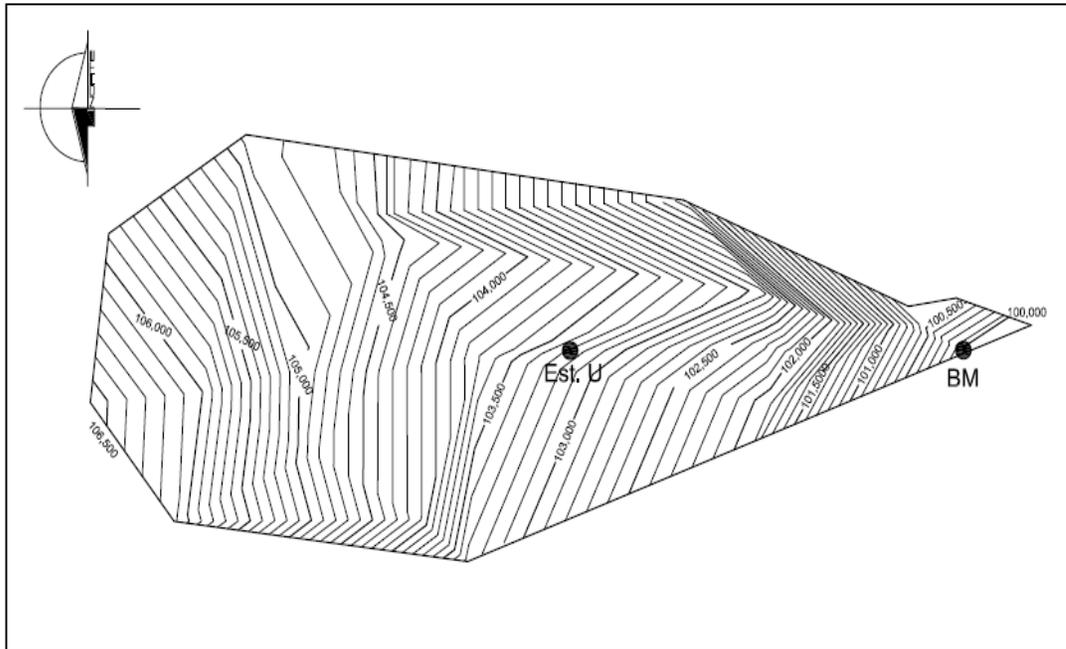
En la tabla XXV se muestran las coordenadas de los puntos medidos y en la figura 49 se muestra el resultado final del levantamiento, además del plano en formato A-3 que se muestra en el anexo 14. El levantamiento requirió 25 minutos de tiempo de trabajo en campo y 32 minutos en trabajo de gabinete.

Tabla XXV. **Información espacial de curvas de nivel con taquimetría**

PUNTO	X	Y	COTA
1	78,393	88,466	99,806
2	81,143	91,059	100,000
3	83,757	90,948	100,584
4	84,774	91,439	100,920
5	89,253	97,616	101,892
6	87,617	92,736	101,894
7	89,205	95,107	102,007
8	92,564	111,998	102,022
9	97,565	91,115	102,237
10	90,852	95,261	102,345
11	103,205	97,132	102,676
12	91,882	93,189	102,935
13	100,731	111,173	103,265
14	104,184	102,296	103,691
15	103,845	110,494	104,112
16	108,497	105,068	104,356
17	111,179	99,356	104,645
18	110,238	110,171	104,836
19	119,835	98,305	104,862
20	112,920	107,205	105,078
21	124,460	105,559	105,882
22	116,827	110,118	106,006
23	115,599	116,156	106,122
24	121,991	113,074	106,592

Fuente: elaboración propia.

Figura 49. **Curvas de nivel por taquimetría**



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD Civil 3D 2009.

5. ANÁLISIS DE LEVANTAMIENTOS CON ESTACIÓN TOTAL

El enfoque del presente capítulo corresponde al uso de estación total por medio de la aplicación a seis diferentes levantamientos; en los que se realizaron las observaciones necesarias a fin de alcanzar el objetivo analítico, tomando como guía los procedimientos enunciados en el capítulo 3, adaptándolos según la necesidad requerida por cada levantamiento específico.

Los levantamientos de aplicación se realizaron con un equipo de trabajo compuesto por dos personas y se consideró el uso de los siguientes instrumentos:

- Estación total Leica TC-307 (especificaciones en anexo 6 y 7)
- Miniprisma Leica GMP111
- Trípode de aluminio
- Cinta métrica de nailon 50 metros marca INDEX precisión +/- 2 mm

Todos los instrumentos fueron proporcionados por el Área de Topografía y Transportes de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de San Carlos de Guatemala; las especificaciones de estos se pueden observar en los anexos.

Las tablas y figuras expuestas en este capítulo son derivadas de un procedimiento de campo y gabinete; se describen los resultados finales junto con las libretas de campo y/o croquis realizados durante la práctica, observaciones y descripciones pertinentes de cada levantamiento.

5.1. Análisis de medición de distancias

Se desarrolló un análisis de medición de distancias respecto de la misma medida patrón y ubicación utilizada para el análisis de distancias taquimétricas (ver figuras 29 y 30); con marcas colocadas a distancias comprendidas entre los 2 y 200 metros; se tomaron lecturas de distancia utilizando la función de IEMD. Como el objetivo de la medición era la comparación con las medidas taquimétricas, únicamente se realizaron hasta los 200 metros, al igual que en el análisis de taquimetría; sin embargo, según las especificaciones del conjunto estación total y miniprisma, las mediciones pueden alcanzar hasta los 800 metros en condiciones ambientales medias.

Utilizando la función de IEMD en modo de infrarrojo rápido (IR-rapid) desde una única estación, la medición de los puntos se realizó en un tiempo de 15 minutos de trabajo. Las principales observaciones al realizar las mediciones fueron:

- Uno de los factores más importantes es mantener el miniprisma a plomo; para esto, el mismo portaprisma cuenta con un nivel de burbuja circular que lo facilita. Es necesario que la persona encargada de colocar el prisma en el punto cuide este aspecto, pues la mayoría de equivocaciones radican en no hacerlo.
- Es necesario que siempre al iniciar la medición se observen y configuren los parámetros de altura y constante del prisma y la altura de instrumento.

La tabla XXVI coteja los datos obtenidos de las mediciones realizadas para este análisis de distancias, utilizando estación total.

Tabla XXVI. **Libreta de distancias por estación total**

Distancia horizontal patrón	Distancia horizontal con IEMD (metros)
2,000	2,001
3,000	3,005
4,000	4,007
5,000	5,009
7,160	7,166
10,000	10,009
20,000	20,002
26,145	26,151
30,000	30,008
40,000	40,003
41,060	41,065
50,000	50,005
60,000	60,004
70,000	70,007
77,960	77,968
80,000	80,005
90,000	90,009
100,000	100,008
105,450	105,457
110,000	110,008
120,000	120,007
125,870	125,878
130,000	130,004
140,000	140,005
141,045	141,050
150,000	150,004
160,000	160,003
170,000	170,002
180,000	180,001
190,000	190,006
200,000	200,001

Fuente: elaboración propia.

Se puede considerar que el tiempo de trabajo de gabinete para este levantamiento es mínimo, ya que no hace falta ningún cálculo y los datos obtenidos en campo son directamente los resultados finales del levantamiento.

Respecto del patrón de medición y las medidas tomadas con el IEMD de la estación total, se obtuvieron diferencias que varían en un rango del 0,009 m y 0,001 m, con un error absoluto promedio de 0,005 m y el error relativo promedio de 0,030 %.

5.2. Análisis de nivelación

Este análisis se desarrolló utilizando como control el levantamiento por nivelación diferencial mostrado en la figura 33 y tabla X.

La misma fracción de colina medida con el método de nivelación diferencial, en la ubicación indicada por la figura 32, fue medida con estación total. Desde una única estación, identificada con la letra "A", se visualizaron nueve puntos, los cuales fueron visados con taquimetría para la nivelación. Visando hacia el punto 1, designado como BM, se definió la cota de la estación y luego se tomaron radiaciones de los puntos, a las cuales, automáticamente el instrumento calculaba la cota. El tiempo de medición fue de 12 minutos.

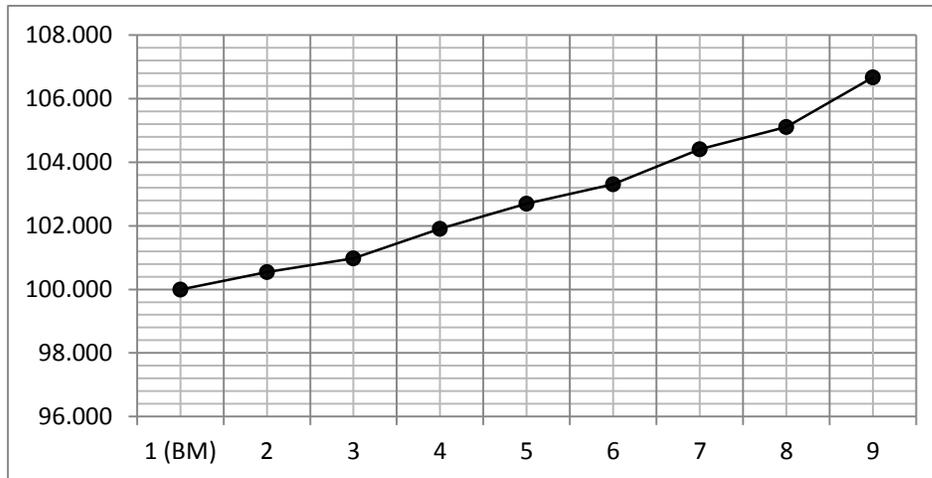
El trabajo de gabinete consistió en trasladar la información obtenida de la estación total a una hoja electrónica para la representación de la configuración del terreno; esta tarea se efectuó en 7 minutos de trabajo y no se hizo necesario realizar ningún cálculo. La tabla XXVII y la figura 50 muestran los resultados de la nivelación utilizando estación total. Además, con base en los resultados obtenidos, se realizó el plano en formato A-3, mostrado en el anexo 15.

Tabla XXVII. **Libreta de nivelación por estación total**

Punto	Cota
1	100,000
2	100,550
3	100,977
4	101,907
5	102,694
6	103,305
7	104,412
8	105,109
9	106,671

Fuente: elaboración propia.

Figura 50. **Perfil de terreno por nivelación con estación total**



Fuente: elaboración propia.

Aun cuando los perfiles de las figuras 34 y 50 o de los mostrados en los planos de los anexos 8 y 15, respectivamente, son similares, las diferencias entre los niveles obtenidos con el método diferencial y los niveles por estación total son relativamente significativos, variando en un rango entre los 0,014 m y los 0,001 m, con una media aritmética de 0,008 m.

5.3. Levantamiento de polígonos

Para esta aplicación se tuvo la consideración del levantamiento de dos polígonos con estación total, uno por el método de radiaciones y otro por el de conservación del azimut; mismos que se midieron para el análisis con taquimetría.

La ubicación y croquis del levantamiento para el polígono por radiaciones con estación total se muestran en las figuras 37 y 38, respectivamente.

El trabajo de campo para este levantamiento consistió en un único estacionamiento del instrumento, con referencia a un norte arbitrario; a dicha estación se le asignó la letra "U" como identificación y coordenadas asumidas $X = 100,00$ $Y = 100,00$ y $Z = 100,00$; desde esta estación se radiaron trece puntos que se identificaron de forma correlativa de la "R1" a la "R13", utilizando la función de IEMD de la estación total en modo rápido, utilizando un norte arbitrario para la orientación del levantamiento y visando hacia los puntos en cuestión, utilizando el miniprisma Leica GMP111.

El tiempo de trabajo para el polígono fue de 14 minutos y como resultado del levantamiento se obtuvo la libreta de campo con las coordenadas de los puntos radiados, los cuales se muestran en la tabla XXVIII.

Tabla XXVIII. **Libreta de campo polígono por radiaciones con estación total**

Est.	PO	Coordenadas PO		
		X	Y	Z
U	R1	109,267	121,791	100,573
U	R2	117,976	122,113	100,610
U	R3	124,307	103,685	100,436
U	R4	116,722	90,530	100,146
U	R5	108,439	78,528	100,303
U	R6	90,518	89,900	99,773
U	R7	69,919	102,469	100,036
U	R8	58,369	110,100	100,205
U	R9	49,445	116,130	100,442
U	R10	52.384	120.995	100,508
U	R11	58.255	129.512	100,515
U	R12	63,333	140,168	100,418
U	R13	84,075	129,305	100,518

Fuente: elaboración propia.

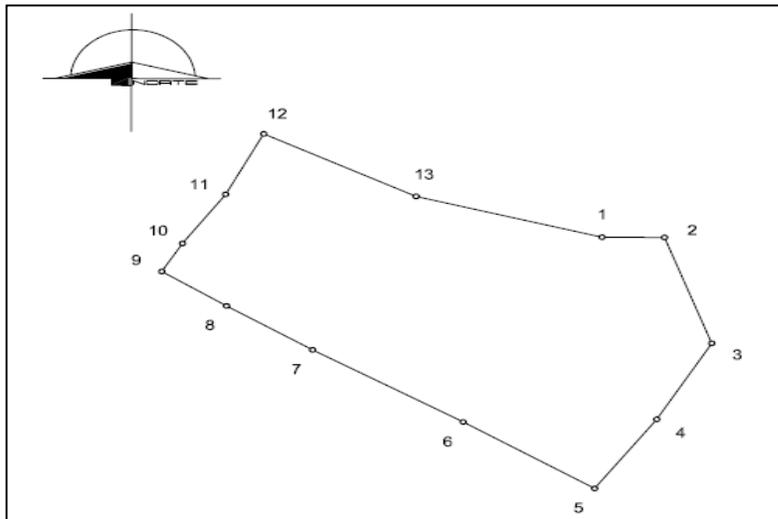
Con las coordenadas obtenidas del levantamiento del polígono por radiaciones se inició el trabajo de gabinete, que consistió en la elaboración de la libreta topográfica final por medio de la implementación de una hoja electrónica, obteniendo como resultado la libreta final que se muestra en la tabla XXIX; además, utilizando el software de dibujo asistido por computadora, AutoCAD, y las coordenadas de la libreta de campo, se trazó el dibujo del polígono que se muestra en la figura 51, además del plano de registro en formato A-4 que se muestra en el anexo 16. El tiempo total de trabajo en gabinete para realizar las tareas descritas fue de 16 minutos y el área resultante del polígono fue de 2338,647 m².

Tabla XXIX. **Libreta final de polígono por radiaciones con estación total**

Est.	PO	Rumbo	DHz (m)
1	2	N 87° 52' 57" E	8,715
2	3	S 18° 57' 37" E	19,485
3	4	S 29° 58' 02" W	15,185
4	5	S 34° 36' 39" W	14,583
5	6	N 57° 36' 08" W	21,225
6	7	N 58° 36' 34" W	24,131
7	8	N 56° 32' 51" W	13,843
8	9	N 55° 57' 10" W	10,770
9	10	N 31° 8' 12" E	5,684
10	11	N 34° 34' 46" E	10,344
11	12	N 25° 28' 47" E	11,804
12	13	S 62° 21' 29" E	23,414
13	1	S 73° 23' 30" E	26,289

Fuente: elaboración propia.

Figura 51. **Polígono por radiaciones con estación total**



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD 2010.

Otro levantamiento de polígono se realizó por medio del método de conservación del azimut utilizando estación total. La ubicación de este levantamiento se muestra en la figura 40.

Para el levantamiento fueron necesarios 25 minutos de trabajo, tomando en cuenta las consideraciones descritas en los apartados 3.2 y 3.3. Para el desarrollo del levantamiento se realizaron cinco estacionamientos del instrumento, los cuales se identificaron con las letras de la “A” a la “E”, correlativo al orden del levantamiento, y se determinó un norte arbitrario para la orientación del levantamiento, tal como lo muestra el croquis en la figura 41. La tabla XXX muestra la libreta de campo, resultado del levantamiento.

Tabla XXX. **Libreta de campo de polígono por conservación del azimut y estación total**

Est.	PO	Azimut	Distancia horizontal (m)
A	B	215° 10' 06"	44,413
B	C	276° 05' 07"	29,346
C	D	17° 26' 20"	37,452
D	E	43° 48' 24"	24,852
E	A	127° 52' 04"	33,383
A'	B'	215° 10' 05"	44,413

Fuente: elaboración propia.

Para dar continuidad con el procedimiento, se realizó la verificación del error de cierre angular, obtenido de la diferencia entre el ángulo acimutal de inicio y el de verificación de cierre, comprobando que la diferencia entre estos no supere la tolerancia admisible; en este caso, $T = (0^{\circ}0'1'')(\sqrt{5}) = 0^{\circ}0'2.24''$. La tabla XXXI muestra los datos para la verificación del cierre angular.

Tabla XXXI. **Verificación de cierre angular de polígono con estación total**

Est.	PO	Azimut
A	B	215° 10' 06"
A'	B'	215° 10' 05"
Diferencia		0° 00' 01" < T

Fuente: elaboración propia.

Con base en la libreta de campo se calculó la libreta final del polígono, utilizando el método de Pensilvania para determinar el error de cierre, su compensación y el área del polígono, como lo muestran las tablas XXXII, XXXIII y XXXIV.

Tabla XXXII. **Paso 1: método Pensilvania para polígono con estación total**

Est.	PO	DHz (Taquimetría)	xp [DHz*sen(γ)]	yp [DHz*cos(γ)]
A	B	44,413	-25,581	-36,306
B	C	29,346	-29,181	3,111
C	D	37,452	11,224	35,731
D	E	24,852	17,203	17,935
E	A	33,383	26,354	-20,492
	Δ		0,019	0,021
	Σ	169,446	109,542	113,575

Error de cierre: $\sqrt{((\Delta x_p)^2 + (\Delta y_p)^2)} = 0,0284$ Error unitario: $(\text{Error de cierre} / \Sigma \text{DHz}) = 0,0002$ Fcx: $\Delta x_p / \Sigma x_p = 0,000174$ Fcy: $\Delta y_p / \Sigma y_p = -0,000186$

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIII. **Paso 2: método Pensilvania para polígono con estación total**

Est.	PO	xpc [xp+(Fxp*xp)]	ypc [yp+(Fyp*yp)]	Xtc _{est} [xpc+Xtc _{po}]	Ytc _{est} [ypc+Ytc _{po}]
A	B	-25,585	-36,299	0,000	0,000
B	C	-29,186	3,112	-25,585	-36,299
C	D	11,222	35,737	-54,771	-33,188
D	E	17,200	17,939	-43,549	2,550
E	A	26,349	-20,488	-26,349	20,488

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIV. **Paso 3: método Pensilvania para polígono con estación total**

Est.	PO	DDM [XtCest+XtCpo]	DDE [YtCest+YtCpo]	DDM*ypc	DDE*xpc
A	B	-25,585	-36,299	928,733	928,733
B	C	-80,357	-69,487	-250,030	2 028,026
C	D	-98,320	-30,638	-3 513,700	-343,821
D	E	-69,898	23,038	-1 253,869	396,252
E	A	-26,349	20,488	539,839	539,839
			Δ	-3 549,028	3 549,028

Área: $\Delta(DDx*ypc)/2 = 1\,774,514\text{ m}^2$

Fuente: elaboración propia.

Con los datos de la libreta de campo se utilizó el método de Pensilvania para la determinación del error de cierre y la compensación de este. Se obtuvo un error de cierre de 0,0284 m y un error unitario de 0,0002 m/m, el cual se consideró admisible según el criterio para un mínimo error unitario de 0,003

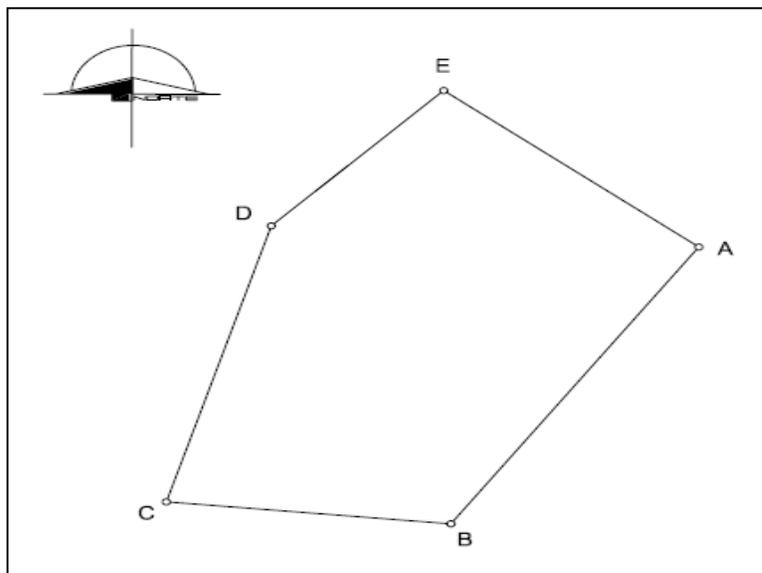
m/m, según artículo 35 de la Ley Reglamentaria para Trabajos de Agrimensura. También se determinó el área del polígono de 1774,514 m².

Tabla XXXV. **Libreta final de polígono por conservación del azimut y estación total**

Est.	PO	Rumbo	DHz (m)
A	B	S 35° 10' 40" W	44,410
B	C	N 83° 54' 56" W	29,351
C	D	N 17° 25' 58" E	37,458
D	E	N 43° 47' 48" E	24,852
E	A	S 52° 07' 58" E	33,377

Fuente: elaboración propia.

Figura 52. **Polígono por conservación del azimut y estación total**



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD 2010.

El trabajo de gabinete se realizó en 23 minutos, utilizando una hoja electrónica para los cálculos y el software de dibujo asistido por computadora, AutoCAD. La tabla XXXV y la figura 52 muestran la libreta topográfica final y el dibujo del levantamiento del polígono, utilizando el método de conservación del azimut y estación total, además del plano de registro mostrado en el anexo 17.

5.4. Replanteo de tramo vial con estación total

Se realizó el levantamiento de replanteo en un tramo vial, cuya ubicación del tramo medido se muestra en la figura 43.

Para el levantamiento en cuestión, se utilizaron tres estaciones formando una poligonal abierta, las cuales se identificaron con las letras A, B y C, referenciando hacia un norte arbitrario para la orientación del levantamiento. A la primera estación con la que se inició el trabajo (la estación A), se le asignaron las coordenadas asumidas de $X = 500$, $Y = 500$ y $Z = 500$. A partir de este punto se realizó la medición de las radiaciones para el trazado y remediación de las curvas de carretera. Se realizaron cincuenta y ocho radiaciones sobre los costados de la carretera, tal como lo muestra el croquis de la figura 44 y el tiempo de trabajo en campo fue de 45 minutos.

Para la realización del levantamiento se utilizó el modo IEMD de la estación total con configuración de medición rápida, visando hacia los puntos en cuestión por medio del miniprisma Leica GMP111.

Debido a que se trataba de una poligonal pequeña, en un terreno relativamente plano y realizado con estación total, no se consideró necesario cerrar la poligonal. Como resultado del trabajo de campo se obtuvo la libreta de campo, la cual se representa en la tabla XXXVI.

Tabla XXXVI. **Libreta de replanteo de tramo vial con estación total**

Est.	PO	Coordenadas PO		
		X	Y	Z
A	R1	503,022	501,799	498,491
A	R2	505,500	510,619	498,275
A	R3	494,036	504,175	498,130
A	R4	500,105	511,739	497,981
A	R5	486,392	506,806	497,878
A	R6	491,574	514,092	497,760
A	R7	479,611	509,494	497,624
A	R8	488,888	514,940	497,548
A	R9	473,769	512,273	497,314
A	R10	483,267	517,007	497,263
A	R11	468,035	515,329	497,144
A	R12	477,728	519,312	496,867
A	R13	461,833	518,946	496,920
A	R14	472,310	521,936	497,054
A	R15	458,108	521,359	497,136
A	R16	465,522	525,629	497,245
A	R17	450,498	526,919	497,360
A	R18	461,346	528,213	497,506
A	R19	445,420	531,226	497,651
A	R20	456,366	531,593	497,778
A	R21	441,584	534,679	497,856
A	B	439,408	535,796	498,175
B	R22	437,262	539,000	498,331
B	R23	437,553	548,063	496,976
B	R24	424,168	553,856	495,307
B	R25	431,083	555,341	493,952
B	R26	410,446	569,619	495,264
B	R27	418,590	569,601	495,130
B	R28	388,970	594,144	494,959
B	R29	401,974	588,689	494,854
B	R30	390,748	601,338	494,785
B	C	370,682	620,350	494,719
C	R31	386,291	605,707	494,718
C	R32	377,139	613,414	494,660
C	R33	372,113	617,040	494,636
C	R34	365,274	621,390	494,772

Continuación de la tabla XXXVI.

C	R35	359,660	624,487	495,046
C	R36	353,672	627,413	493,531
C	R37	344,335	631,156	492,736
C	R38	340,039	632,593	493,996
C	R39	334,534	634,209	493,604
C	R40	329,218	635,479	493,506
C	R41	322,845	636,611	493,403
C	R42	318,148	637,237	493,315
C	R43	300,695	638,044	493,275
C	R44	296,234	637,791	493,261
C	R45	302,957	630,385	493,215
C	R46	314,999	628,622	493,206
C	R47	320,818	627,589	493,188
C	R48	333,080	625,259	493,147
C	R49	338,837	624,020	493,136
C	R50	344,621	622,754	493,093
C	R51	349,396	621,527	493,083
C	R52	353,550	620,223	492,997
C	R53	357,750	618,531	492,951
C	R54	360,089	617,264	493,203
C	R55	364,684	614,562	493,231
C	R56	369,278	611,475	493,271
C	R57	373,765	608,231	493,308
C	R58	377,249	605,435	493,331

Fuente: elaboración propia.

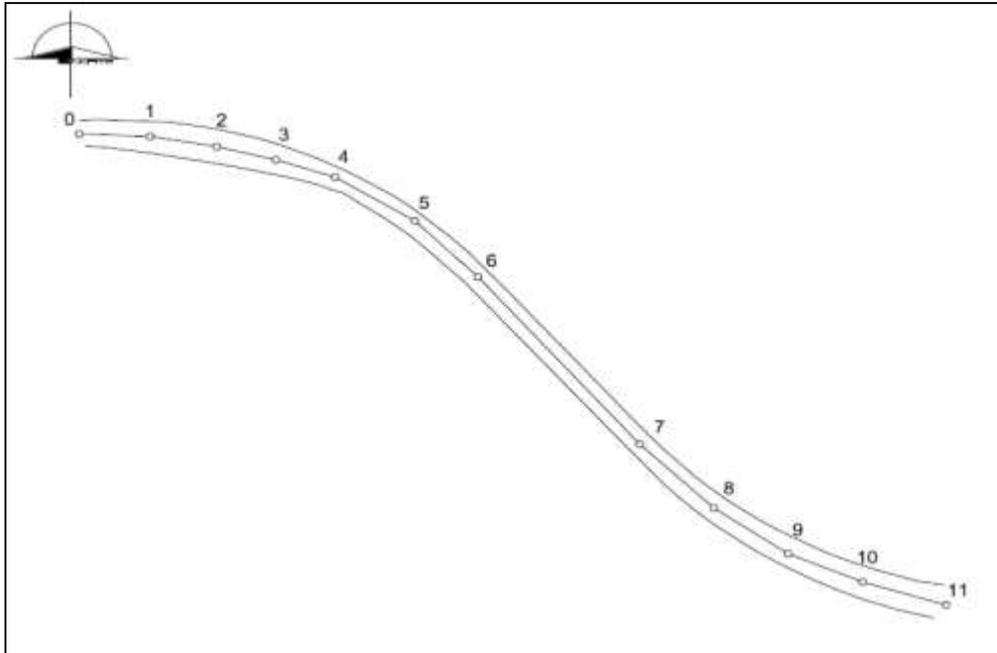
Con las coordenadas obtenidas del levantamiento con estación total se trazó la línea central, utilizando el software de dibujo asistido por computadora, AutoCAD, para obtener la libreta topográfica final del levantamiento que se muestra en la figura 53 y la tabla XXXVII. El trazado del dibujo final y la obtención de la libreta final, se realizaron en 25 minutos de tiempo de trabajo de gabinete.

Tabla XXXVII. **Libreta final de replanteo vial con estación total**

Est.	PO	Rumbo	DHz (m)
0	1	S 89° 30' 17" E	17,221
1	2	S 80° 25' 28" E	17,252
2	3	S 73° 42' 20" E	14,380
3	4	S 69° 33' 34" E	15,120
4	5	S 56° 36' 49" E	22,714
5	6	S 45° 15' 08" E	21,499
6	7	S 40° 49' 26" E	59,688
7	8	S 46° 10' 04" E	24,849
8	9	S 55° 21' 57" E	21,786
9	10	S 67° 04' 27" E	19,576
10	11	S 72° 49' 21" E	21,055

Fuente: elaboración propia.

Figura 53. **Planta de replanteo de tramo vial con estación total**



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD 2010.

5.5. Levantamiento de obra terminada

Por medio de un polígono auxiliar, el mismo mostrado en la tabla XXIX y figura 51, se realizaron radiaciones con estación total para determinar el contorno de un edificio, ubicando y utilizando como referencia un norte arbitrario para el levantamiento de obra terminada. El levantamiento de obra terminada consistió en la medición de siete radiaciones, enumeradas de "R1" a "R7", realizadas desde la estación A, C y E del polígono auxiliar, según lo muestra el croquis de levantamiento en la figura 46. Como resultado del levantamiento se obtuvo la libreta de campo mostrada en la tabla XXXVIII.

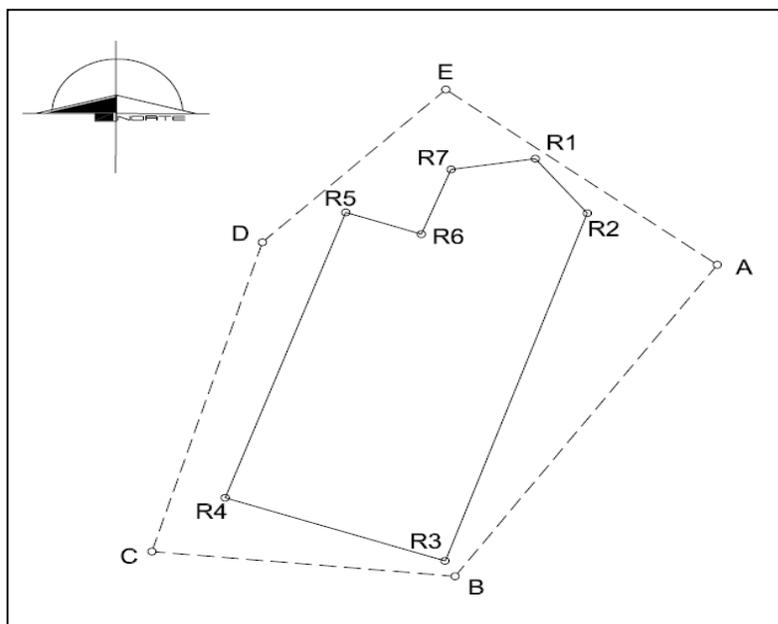
Tabla XXXVIII. **Libreta de campo de obra terminada con estación total**

Est.	PO	Azimut	Distancia horizontal (m)
A	R1	304° 57' 52"	21,536
A	R2	295° 26' 34"	13,960
A	R3	217° 33' 10"	43,154
A	R1	217° 33' 10"	43,154
A	B	215° 10' 06"	44,413
B	C	276° 05' 07"	29,346
C	R4	48° 40' 00"	9,458
C	D	17° 26' 20"	37,452
D	E	43° 48' 24"	24,852
E	R5	214° 10' 20"	17,257
E	R6	188° 00' 19"	16,976
E	R7	176° 47' 21"	9,299
E	A	127° 52' 04"	33,383

Fuente: elaboración propia.

El tiempo para la realización de este levantamiento fue de 30 minutos, junto con el polígono y las radiaciones que se realizaron para la ubicación del edificio. Con la libreta topográfica se trazó con el software de dibujo asistido por computadora, AutoCAD, el dibujo del levantamiento, mostrado en la figura 54, además del plano en formato A-3 que se muestra en el anexo 19. El tiempo de trabajo de gabinete fue de 16 minutos.

Figura 54. **Levantamiento de obra terminada con estación total**



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD 2010.

5.6. **Curvas de nivel**

Se tomaron mediciones con estación total desde una única estación, la cual se identificó con la letra “U”, en los puntos que se consideraron necesarios para representar el terreno por curvas de nivel en una fracción de colina, ubicada según el croquis de la figura 48.

Como resultado del levantamiento se obtuvieron las coordenadas que se muestran en la tabla XXXIX.

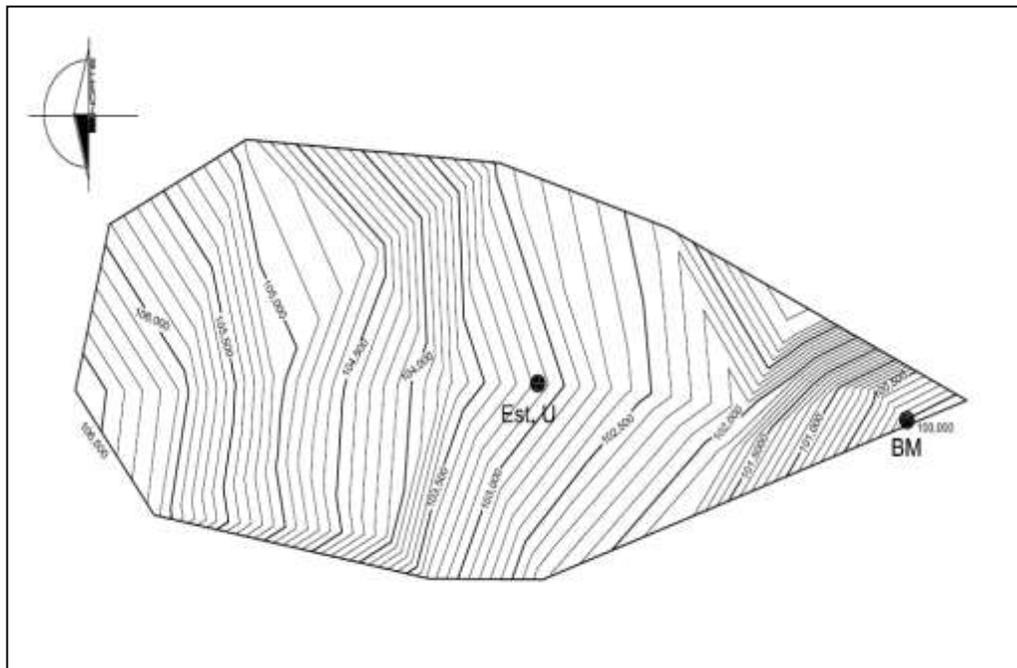
Tabla XXXIX. **Información espacial de curvas de nivel con estación total**

EST.	P.O.	X	Y	COTA
U	1	78,597	88,575	99,866
U	2	81,069	91,024	100,000
U	3	83,454	90,779	100,550
U	4	85,069	91,605	100,977
U	5	89,137	97,590	101,850
U	6	87,599	92,726	101,907
U	7	89,276	95,139	102,033
U	8	95,129	107,859	102,216
U	9	97,247	89,955	102,340
U	10	96,134	97,997	102,684
U	11	107,078	92,091	102,952
U	12	88,850	90,645	102,961
U	13	100,723	111,046	103,266
U	14	104,358	102,391	103,719
U	15	103,863	110,544	104,117
U	16	108,856	105,282	104,412
U	17	111,177	99,356	104,665
U	18	110,203	110,136	104,850
U	19	120,019	98,289	104,882
U	20	113,101	107,306	105,109
U	21	124,704	105,614	105,907
U	22	117,374	110,447	106,099
U	23	115,661	116,220	106,156
U	24	122,458	113,352	106,671

Fuente: elaboración propia.

Con las coordenadas obtenidas directamente del levantamiento y utilizando el software AutoCAD Civil 3D Land Desktop, se trazaron las curvas de nivel respectivas que se muestran en la figura 55, como resultado final del levantamiento; además del plano en formato A-3 que se muestra en el anexo 20. El levantamiento requirió 15 minutos de tiempo de trabajo en campo y 13 de trabajo en gabinete.

Figura 55. **Curvas de nivel con estación total**



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD Civil 3D 2009.

6. ANÁLISIS DE ERRORES Y FACTORES DE INFLUENCIA

En los capítulos 2 y 3 se habló de la precisión teórica y de las posibles causas de error en los levantamientos taquimétricos y en los levantamientos empleando estación total, respectivamente.

Luego del uso de ambos tipos de levantamientos en diferentes aplicaciones, se procederá a analizar los factores que influyen en la buena práctica de cada uno de los levantamientos, los errores, sus causas y la mejor manera de evitar incurrir en los mismos, equiparando la teoría expuesta en los anteriores incisos, con la experiencia obtenida en la aplicación de los levantamientos en estudio.

Los análisis de errores se consideraron para las aplicaciones de medición de distancias, nivelación y levantamiento de polígonos. El resto de las aplicaciones se realizaron a fin de analizar los factores influyentes dentro del contexto del levantamiento y la manejabilidad del método en las diferentes aplicaciones. Es importante mencionar que los levantamientos se realizaron bajo un cuidado y control considerable; además, el equipo e instrumentos utilizados fueron examinados para que cumpliesen con un buen funcionamiento.

6.1. Levantamientos taquimétricos

Los levantamientos taquimétricos fueron desarrollados según los procedimientos descritos; luego de realizar estos y las labores de gabinete, se efectuaron los respectivos análisis para determinar los errores y factores que influyeron en los levantamientos taquimétricos.

6.1.1. Análisis de errores

- Medición de distancias: durante la medición de distancias, las marcas para el patrón de medida se habían colocado a cada 10 m; sin embargo, al ser esta distancia submúltiplo de la constante de estadia $K = 100$, la lectura de hilos siempre variaría 0,10 m para ángulos cercanos al horizonte (90°); por lo tanto, se colocaron marcas a distancias aleatorias y los resultados obtenidos tuvieron diferencias considerables. En la práctica se observó que las mediciones en intervalos exactos son improbables, por lo que se refirió a las mediciones en puntos arbitrarios como el resultado final. La tabla XL muestra los resultados.

Tabla XL. **Análisis de errores en medición de distancias con taquimetría**

	Mediciones a cada 10 m	Mediciones en puntos arbitrarios	Media de todas las mediciones	Teoría (2.6)
Error absoluto (m)	0,005	0,129	0,033	----
Error relativo (%)	0,095	0,241	0,128	0,25

Fuente: elaboración propia.

- Nivelación: como esta medición consiste básicamente en el procedimiento trigonométrico para obtener los desniveles de forma indirecta, se refirió un levantamiento de nivelación diferencial o directa, con la cual se equiparó. El promedio de la diferencia entre los niveles diferenciales y trigonométricos fue de 0,022 m.

- Levantamiento de polígono por conservación del azimut: en el levantamiento del polígono, se calculó el error de cierre según la libreta topográfica de campo. El error de cierre determinado fue de 0,349 m y la relación de cierre unitario de 0,002 (1/500); esto coincidió en comparación con la teoría que mencionaba que se podría esperar una relación de error entre 1/300 y 1/500.

6.1.2. Factores influyentes

Para describir los factores que influyen en la realización de una buena práctica de los levantamientos, se tomaron en cuenta los ya mencionados; a continuación se enlistan junto con las observaciones necesarias:

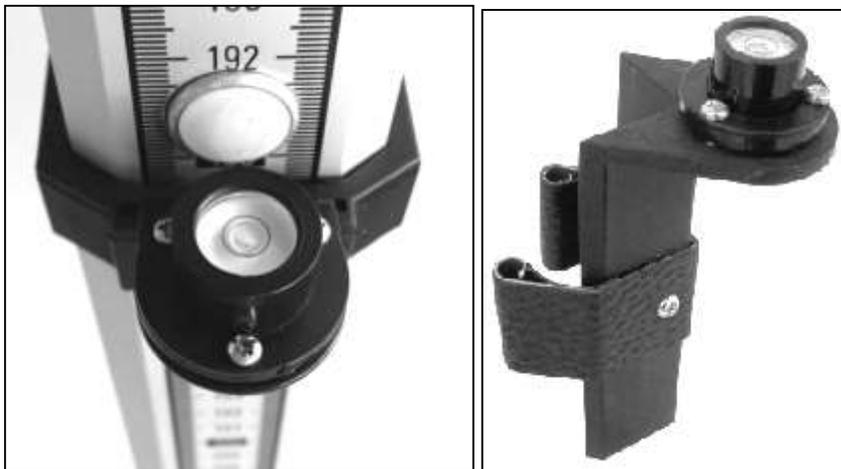
- La lectura de hilos estadimétricos es el factor más importante en la precisión de medidas taquimétricas y son varios los causantes que pueden ocasionar una deficiente lectura.
 - El estadal no se mantiene vertical durante la medición, como se muestra en la figura 56. Se analizó que este factor podría disminuirse o incluso eliminarse, con la implementación de un nivel de burbuja de cualquiera de los tipos mostrados en la figura 57; de cualquier manera, es responsabilidad y obligación de la persona encargada de manejar el estadal, evitar una colocación incorrecta de este.

Figura 56. **Verticalidad en el estadal**



Fuente: MONTES DE OCA, Miguel. *Topografía*. p. 99.

Figura 57. **Niveles de burbuja para estadal**



Fuente: <http://is.gd/BVKR8E>; <http://is.gd/XpJVq1>. Consulta: 13 de septiembre de 2013.

- Visuales largas, mayores a los 150 metros, hacen dificultosa la lectura de hilos estadimétricos, esto principalmente cuando las condiciones atmosféricas no son adecuadas; este fue el caso durante la mayoría de las prácticas realizadas para este estudio. Las condiciones atmosféricas fueron un factor importante en la realización de levantamientos taquimétricos. La observación desde el telescopio se observaría como se muestra en la figura 58.

Figura 58. **Visual de estadal para distancias largas**



Fuente: elaboración propia.

- Equivocaciones en la lectura y anotación de los hilos estadimétricos: se pudo observar durante la realización de los levantamientos, que en la acción de observar los hilos estadimétricos para luego tomar anotación de estos, podían darse equivocaciones de malas anotaciones, y al realizar pruebas, se

consideró que la mejor práctica consiste en repetir y hacer una verificación de la lectura de los hilos para cada una de las anotaciones.

- Cuando la cantidad de puntos medidos son muchos (más de 30 puntos), es evidente que el cansancio y agotamiento tienen influencia sobre el estadalero, para quien se hace más dificultoso mantener el estadal verticalmente. Si es necesario, deben tomarse descansos para evitar que esto pueda afectar en la calidad del levantamiento.
- Los factores atmosféricos como la neblina, el aire cargado con humedad o el calor, influyen directamente en la visualización de los hilos estadimétricos. A veces es necesario hacer varias lecturas cuando las condiciones atmosféricas no son adecuadas.

6.2. Levantamientos con estación total

Los levantamientos con estación total fueron desarrollados según los procedimientos descritos; luego de realizar estos y las labores de gabinete, se efectuaron los respectivos análisis para determinar los errores y factores que influyeron.

6.2.1. Análisis de errores en levantamientos con estación total

- Medición de distancias: para la medición de distancias utilizando el IEMD en modo de infrarrojo rápido, se pudo obtener una precisión media en las mediciones de +/- 5 mm, concordando con las especificaciones del instrumento que ofrecía una precisión de +/- 5 mm + 2 ppm.

- Nivelación: como esta medición consiste básicamente en el procedimiento trigonométrico para obtener los desniveles de forma indirecta, se refirió un levantamiento de nivelación diferencial o directa, con la cual se equiparó. El promedio de la diferencia entre los niveles diferenciales y trigonométricos fue de 0,005 m. La diferencia aparentemente pequeña, puede ser o no aceptable; esto depende de la aplicación que tendrá el levantamiento; así, por ejemplo, podrá cumplir los requerimientos para proyectos de líneas de conducción de agua potable, pero no para nivelación de plataformas que soportarán cierto tipo de maquinaria.
- Levantamiento de polígono por conservación del azimut: en el levantamiento del polígono se calculó el error de cierre según la libreta topográfica de campo. El error de cierre determinado es de 0,0275 m y el error unitario de 0,0002 m/m. Estos errores en realidad son bastante pequeños y muy aceptables en el levantamiento de poligonales cerradas.

6.2.2. Factores que influyen en levantamientos con estación total

La mayoría de factores que podrían influir en los levantamientos con estación total son controlables, la misma estación total es capaz de autocorregirlos; por lo tanto, los errores instrumentales son mínimos o casi nulos en un instrumento bien ajustado. Por otro lado, hay factores que no pueden ser controlados por las autocorrecciones del instrumento y que es necesario que el operario del mismo los tenga en cuenta.

- Centrado, nivelación y configuración de la estación total: cualquiera de estos factores que se pasen por alto o se realicen deficientemente influyen de manera directa en los resultados del levantamiento. Cuando

no se tiene conocimiento claro del uso de un modelo específico de estación total, lo mejor es consultar el manual de uso y verificar la forma de la configuración inicial, previo a realizar cualquier tipo de medición.

- Verticalidad y configuración del prisma: al iniciar una medición se debe verificar que la constante de prisma ingresada al instrumento coincida con la del prisma que se está utilizando; para este caso se utilizó un miniprisma Leica modelo GMP111 (ver figura 59), cuya constante es de +17,5 y la verticalidad de este al realizar las mediciones es igual de importante.

Figura 59. **Miniprisma Leica GMP111**



Fuente: <http://is.gd/0uWZGz>. Consulta: 14 de septiembre de 2013.

7. ANÁLISIS COMPARATIVO Y RESULTADOS

7.1. Comparación entre análisis de método taquimétricos y levantamientos con estación total

El análisis comparativo de este apartado se enfoca principalmente en aspectos técnicos de precisión, aplicabilidad y rendimiento entre ambos métodos de levantamiento en estudio; puede que intrínsecamente se obtienen conceptos en cuanto a las ventajas o desventajas que conlleve la utilización de uno u otro método, pero para efectos de estas se ha reservado su explicación más adelante.

7.1.1. Medición de distancias

El análisis de medición de distancias es uno de los primordiales en este estudio, ya que básicamente estas se emplean en cualquiera de las otras aplicaciones desarrolladas. Varios factores en la medición de distancias se consideraron para este análisis comparativo.

- **Precisión:** esta se midió a través del error porcentual medio obtenido en la comparación de medidas adquiridas por cada método y el patrón de medición determinado. Para mediciones de distancias taquimétricas se obtuvo un error relativo medio de 0,241 %, mientras que las tomadas por IEMD de la estación total alcanzaron el 0,03 %. Claramente los errores más pequeños obtenidos fueron las realizadas con estación total.

- Alcance y rango de operación: el método taquimétrico fue viable en el rango de 2 m hasta los 200 m, con condiciones atmosféricas medianamente aceptables (sin calor excesivo ni neblina); fuera de este rango, la visualización del estadal era muy dificultosa y no recomendable. Por otro lado, el rango de operación para el IEMD no se definió experimentalmente, ya que excedía los 200 metros de comparación al que llegó la medición por taquimetría, pero según las especificaciones del fabricante, con el miniprisma que se utilizó en las mediciones, puede alcanzar hasta los 800 m.
- Tiempo de medición: en ambos casos de levantamientos se tomó el tiempo en el que se efectuó la medición de 31 puntos para el análisis de distancias. Para levantamientos taquimétricos se utilizó un tiempo de 35 minutos, mientras que para estación total el tiempo de levantamiento fue de 15 minutos, lo cual significa una reducción del 57,14 % en el tiempo empleado, utilizando el método de estación total respecto del taquimétrico.
- Tiempo de trabajo en gabinete: para la medición de distancias con taquimetría, se emplearon 18 minutos para la digitalización y elaboración de cálculos para obtener la libreta final y resultados finales, mientras que con la estación total, el trabajo de gabinete se consideró mínimo, no más de 5 minutos en la descarga de información de la memoria de la estación al computador, ya que no hace falta ningún cálculo y los datos obtenidos en campo son directamente los resultados finales del levantamiento. En comparación, el trabajo en gabinete con estación total se redujo en 72,22 % el tiempo de trabajo, en comparación con el tiempo empleado por el método taquimétrico.

7.1.2. Nivelación

Para ambos métodos las distancias horizontales y la diferencia de alturas son medidas simultáneamente; estas últimas por método trigonométrico, que según la teoría expuesta, se encuentran en inferior precisión en comparación con los métodos de nivelación diferencial; por lo tanto, para el estudio de análisis de nivelación se compararon ambos métodos con un levantamiento por nivelación diferencial, y de los resultados obtenidos se comparan los métodos concernientes a este estudio.

- Precisión: al igual que en las mediciones de distancias horizontales, la precisión se midió por medio del error relativo medio, para el cual la taquimetría tomó un valor de 0,022 % y para el uso de estación total 0,005 %. Para ambos métodos el error porcentual medio fue considerablemente bajo, aunque las mediciones por estación total tuvieron los valores más favorables.
- Tiempo de medición: para determinar la nivelación de 9 puntos con taquimetría se tomaron 20 minutos de trabajo, mientras que utilizando estación total fueron necesarios 12 minutos; es decir que este último disminuyó en 40 % el tiempo empleado, en comparación con el primero.
- Tiempo de trabajo en gabinete: para la nivelación con taquimetría se emplearon 14 minutos de tiempo de trabajo para la digitalización y realización de cálculos, mientras que los trabajos de gabinete con estación total se realizaron en 7 minutos. En comparación con el método taquimétrico, el trabajo en gabinete con estación total se redujo en 50 %.

7.1.3. Levantamientos de polígonos

Para el levantamiento de un polígono por radiaciones se realizaron 13 radiaciones desde una única estación para ambos métodos de levantamiento.

- Tiempo de medición: el método taquimétrico realizó el levantamiento en 18 minutos, mientras que empleando estación total el tiempo de levantamiento fue de 14 minutos; 22,22 % menos tiempo que el taquimétrico.
- Tiempo de trabajo en gabinete: para taquimetría las tareas en gabinete utilizaron 24 minutos, mientras que para estación total, 16 minutos fueron necesarios. En comparación con la taquimetría, el tiempo empleado en trabajo de gabinete con estación total es 33,33 % menos.

El levantamiento por conservación del azimut incluyó un polígono con cinco estaciones.

- Precisión: esta se determinó por medio del cálculo del error unitario de cierre del polígono, el cual, para levantamiento taquimétrico fue de 0,002 m/m y utilizando estación total se obtuvo de 0,0002 m/m; este último evidentemente menor que el taquimétrico.
- Tiempo de medición: por taquimetría se realizó el levantamiento en 35 minutos de trabajo, mientras que usando estación total fue de 25 minutos; 28,57 % menos tiempo que por taquimetría.

- Tiempo de trabajo en gabinete: para ambos métodos el tiempo empleado fue el mismo: 23 minutos, debido al procedimiento de Pensilvania, aplicado a las dos situaciones, estas conllevan el mismo trabajo.

Para las restantes tres aplicaciones de levantamientos se deseaba evaluar principalmente la aplicabilidad de los métodos en estudio, por lo que más que a la evaluación de la precisión, se enfocó a la calidad en que podrían aplicarse los métodos en estudio.

7.1.4. Levantamientos de replanteo de tramo vial

- Aplicabilidad: ambos métodos pudieron ser aplicados aceptablemente para el levantamiento y tuvieron un manejo bueno, sin embargo las ventajas entre uno u otro se considerarán más adelante.
- Tiempo de medición: por taquimetría se realizó la medición en 80 minutos, mientras que empleando estación total el tiempo fue 50 minutos; 37,5 % menos que por taquimetría.
- Tiempo de trabajo en gabinete: utilizando el método de taquimetría, las tareas en gabinete utilizaron 55 minutos; mientras que para estación total, 25 minutos fueron necesarios. En comparación con taquimetría, el trabajo en gabinete con estación total disminuye en 54,55 % el tiempo empleado.

7.1.5. Levantamientos de obras terminadas

- Aplicabilidad: la aplicación del método taquimétrico se limitó por la dificultad de realizar detalles cuando el estadal se encontraba a distancias largas, lo cual no sería problema para la estación total.

- Tiempo de medición: por taquimetría se realizó la medición en 40 minutos, mientras que empleando estación total el tiempo fue 30 minutos; 25 % menos que el empleado por taquimetría.
- Tiempo de trabajo en gabinete: para taquimetría, las tareas en gabinete utilizaron 33 minutos, mientras que para estación total, 16 minutos fueron necesarios. En comparación con taquimetría, el trabajo en gabinete con estación total reduce a 51,52 % el tiempo de trabajo.

7.1.6. Curvas de nivel

- Aplicabilidad: la aplicación de ambos métodos no se vio limitada por ningún factor de relevancia, más de los mencionados en las anteriores aplicaciones.
- Tiempo de medición: por taquimetría se realizó la medición en 25 minutos, mientras que empleando estación total el tiempo fue 15 minutos, 40 % menos que el empleado por taquimetría.
- Tiempo de trabajo en gabinete: para taquimetría, las tareas en gabinete utilizaron 32 minutos, mientras que para estación total únicamente 13 minutos fueron necesarios. En comparación con taquimetría, el trabajo en gabinete con estación total reduce a 59,38 % el tiempo empleado en trabajos de gabinete para curvas de nivel.

7.2. Procedimientos recomendados para levantamientos

Los procedimientos teóricos descritos en el segundo capítulo para taquimetría y estación total, respectivamente, fueron aceptables en las mediciones realizadas y pueden tomarse como guía general para la elaboración de levantamientos, según lo indican las recomendaciones finales; sin embargo, se expondrán en los siguientes apartados; algunas recomendaciones para ayudar a una buena ejecución de los levantamientos.

7.2.1. Método taquimétrico

- Visar el estadal con el hilo medio colocado en una división exacta, por ejemplo a 1,40 m, 1,30 m, u otros.
- Colocar un nivel de burbuja u otro tipo que garantice la verticalidad para el estadal (ver figura 56).
- Cuando el clima sea muy caluroso evitar visuales largas y/o cercanas al suelo, donde los efectos de la densidad de aire son mayores.
- De ser posible, que una persona haga la observación y lectura de hilos con voz audible, mientras otra anota.
- Para levantamiento de grandes cantidades de puntos, se deben tomar descansos; esto evitará que el cansancio afecte en la ejecución.

7.2.2. Levantamientos con estación total

- No olvidar verificar que la configuración del instrumento sea la adecuada para el levantamiento que se está realizando.
- Comprobar que la carga de la batería del instrumento esté en buenas condiciones y para evitar la pérdida de datos.
- Siempre que sea necesario consultar sobre alguna aplicación o configuración del instrumento; de la que no se esté seguro, consultar el manual de operación.
- La mayoría de equivocaciones en levantamientos por estación total se pueden dar por una incorrecta configuración inicial del instrumento, más que por alguna otra causa.

7.3. Ventajas y desventajas

Para efectos de análisis concernientes a las ventajas o desventajas de la aplicación de cualquiera de ambos métodos, se manejaron los factores de manejabilidad, rapidez y económicos. En el concepto de manejabilidad se consideró primeramente el trabajo del cadenero, consistente en el movimiento que este realiza entre punto y punto, cargando en un caso el estadal de 4,00 m, que dependiendo del material (aluminio, madera o fibra de vidrio), puede tener un peso aproximado entre 1,8 kg y 3,8 kg, y por el otro lado, el prisma, que según sea el tipo y su configuración, puede tener un peso aproximado entre 0,89 kg para miniprismas y 2,67 kg para configuraciones de prismas más complejas con bípodes y varios reflectores.

Además del peso, la diferencia del tamaño entre ambos causa que el trabajo de taquimetría, para el cadenero, sea más agotador que con estación total.

Asimismo, desde el punto de vista del operador del teodolito o estación total, según sea el caso, la recolección de datos de campo, en la primera lleva un registro manual y escrito, mientras que con la estación total puede llevarse un registro electrónico-digital, con almacenamiento en la memoria del instrumento, dándole además ventaja en las operaciones de gabinete; aunque existen en nuestro medio profesionales que persisten en la utilización de libretas manuscritas por tradición y por el sentido de seguridad mantener a mano la información recopilada durante el levantamiento, evitando pérdidas potenciales al mantener un registro únicamente electrónico que pudiera perderse accidentalmente en algún fallo o mal manejo de la estación total.

En cuanto a rapidez, en promedio, los levantamientos con estación total representaron una reducción del tiempo empleado en comparación con los levantamientos taquimétricos, siendo de 35,78 % en trabajo de campo y 53,50 % en tareas de gabinete, dando ventaja en este aspecto al uso de estación total.

En el mercado nacional, los precios de los teodolitos electrónicos que se utilizaron para el estudio de levantamientos taquimétricos se encuentran alrededor de los Q15 000,00; mientras que la estación total utilizada se encuentra en precios que rondan los Q50 000,00.

La diferencia entre ambos precios es muy significativa; hasta 300 % del precio de un teodolito digital electrónico, es el precio de una estación total.

Otras ventajas o desventajas de cada uno de los métodos pueden ser más de concepciones y preferencias personales de cada topógrafo; sin embargo, las expuestas anteriormente son aquellas que se consideran básicas e imparciales, con el propósito de dejar a criterio personal del lector su preferencia.

7.4. Resultados

Los resultados finales se resumieron en la tabla XLI que se presenta a continuación, sintetizando los análisis de cada uno de los métodos en estudio y comparándolos entre sí.

Tabla XLI. **Resumen de resultados obtenidos en análisis comparativo**

		Taquimetría	Estación total
Medición de distancias			
	Error % medio	0,241	0,03
	Rango de alcance (m)	2 a 200	1 a 800
	Tiempo de medición (min)	35	15
	Tiempo en gabinete (min)	18	5
Nivelación			
	Error % medio	0,022	0,005
	Tiempo de medición (min)	20	12
	Tiempo en gabinete (min)	14	7
Polígono por radiaciones			
	Tiempo de medición (min)	18	14
	Tiempo en gabinete (min)	24	16

Continuación de la tabla XLI.

Polígono conservación del azimut			
	Error de cierre (m)	0,349	0,0275
	Error unitario de cierre (m/m)	0,002	0,0002
	Tiempo de medición (min)	35	25
	Tiempo en gabinete (min)	23	23
Vías de comunicación			
	Tiempo de medición (min)	80	50
	Tiempo en gabinete (min)	55	25
Obra terminada			
	Tiempo de medición (min)	40	30
	Tiempo en gabinete (min)	33	16
Curvas de nivel			
	Tiempo de medición (min)	25	15
	Tiempo en gabinete (min)	32	13
Precio estimado de equipo utilizado		Q 15 000,00	Q 50 000,00

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. El error relativo medio que se podría esperar para la medición de distancias horizontales por método taquimétrico es de 0,241 %, para nivelaciones de 0,022 % y el error unitario de cierre en polígonos de 0,002 m/m.
2. El principal factor que puede afectar las mediciones taquimétricas es la lectura de hilos estadimétricos.
3. El error relativo medio que se podría esperar para la medición de distancias horizontales con estación total es de 0,032 %, para nivelaciones de 0,008 m y el error unitario de cierre en polígonos de 0,0002 m/m.
4. El principal factor que puede afectar las mediciones con estación total es la incorrecta configuración del instrumento.
5. En promedio los levantamientos con estación total son 35,78 % más rápidos que los levantamientos por taquimetría.
6. Una estación total puede tener al menos 300 % mayor precio que el de instrumentos utilizados para levantamientos taquimétricos.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar método taquimétrico en levantamientos de baja precisión, donde no sean necesarios resultados milimétricos, tales como: estudios de prefactibilidad, líneas de conducción de agua potable, levantamiento de detalles como ubicación de árboles o similares, polígonos para representación cartográfica o en escalas pequeñas, levantamientos de representación gráfica aproximada, levantamientos de bajo presupuesto u otros levantamientos en que se considere viable.
2. Utilizar de preferencia levantamientos con estación total antes que los taquimétricos, especialmente en los que se requiera de buena precisión, como: proyectos de vías terrestres, puentes o similares, líneas de drenaje sanitario, polígonos de medida legal, instalación y alineación de equipos mecánicos u otros levantamientos en que se considere viable.
3. Para levantamientos taquimétricos tomar en cuenta los procedimientos indicados en el presente estudio, utilizar estadal con divisiones milimétricas y con burbuja de nivelación para mantener la verticalidad y evitar equivocaciones en la lectura de hilos.
4. Nunca utilizar una estación total sin conocer su funcionamiento específico; considerar la lectura del manual de uso y operación y verificar los parámetros de configuración inicial.

BIBLIOGRAFÍA

1. BRINKER, Russel; WOLF, Paul. *Topografía*. 9a ed. México: Alfaomega, 1997. 834 p. ISBN: 970-15-0221-3.
2. CASANOVA MATERA, Leonardo. *Topografía plana*. Venezuela: Universidad de los Andes, 2002. 298 p. ISBN: 980-11-0672-7.
3. CUYAUBÉ, César. *Estaciones totales: 20 consejos útiles para elegirla* [en línea]. Argentina: Universidad Nacional de Córdoba, 2009, <<http://is.gd/dd2189>>, [Consulta: abril de 2013].
4. DE LA CRUZ GONZÁLEZ, José Luis; MESA MINGORANCE, José Luis. *Instrumentos de topografía: recordando su historia*. Chile: Kollner Labrana y Cía. Ltda, 1997. 26 p. ISSN 1131-9100.
5. GARCÍA MÁRQUEZ, Fernando. *Curso básico de topografía*. México: Pax México, 2004. 308 p. ISBN: 968-860-673-1.
6. GONZALO, Gilberto; JIMÉNEZ, Gonzalo. *Topografía analítica* [en línea]. <<http://repositorio.uniquindio.edu.co/handle/123456789/147>>. [Consulta: agosto de 2013].
7. Guatemala. Congreso de la República. *Ley Reglamentaria para Trabajos de Agrimensura, decreto 1786*. Diario de Centro América, 14 de febrero de 1936, 25 p.

8. _____. Congreso de la República. *Ley del Registro de Información Catastral*. Diario de Centro América, 19 de julio de 2005, decreto 41-2005, 33 p.
9. GUEVARA BARACALDO, Carlos Mauricio. *Topografía aplicada a la construcción de obras civiles y arquitectónicas*. Bogotá: Universidad Santo Tomás, 2011. 210 p. ISBN: 958-631-461-9.
10. JORDAN, Wilhelm. *Tratado general de topografía*. Tom. 2. 3a ed. España: Gustavo Gili, 1961. 572 p.
11. MONTES DE OCA, Miguel. *Topografía*. México: Alfaomega, 1996. 344 p. ISBN: 9789701501993.
12. PASINI, Claudio. *Tratado de topografía*. 4a ed. España: Gustavo Gili, 1960. 615 p.
13. TORRES NIETO, Álvaro; VILLATE BONILLA, Eduardo. *Topografía*. 4a ed. Colombia: Pearson, 2001. 460 p. ISBN: 9789588060125.

ANEXOS

Anexo 1. Teodolito South ET-05



Fuente: <http://www.topoequipos.com/dem/topoequipos/south/ETSeries.jpg>.

Consulta: julio de 2013.

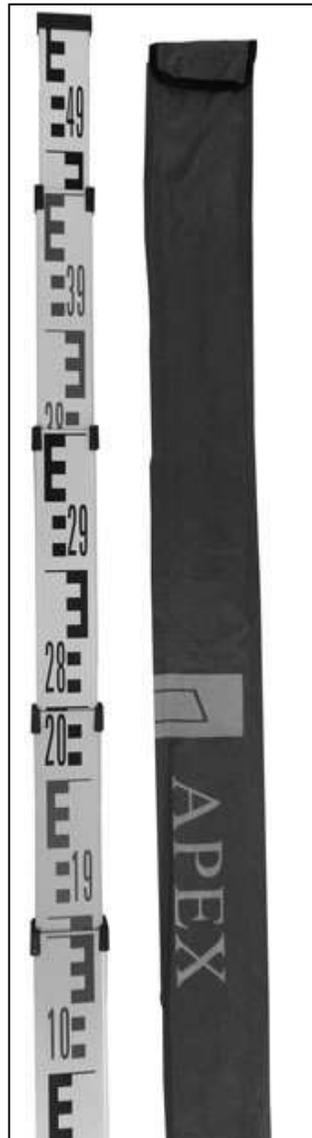
Anexo 2. Especificaciones teodolito South ET-05

Angulo de medición	
Método de medición	Código absoluto
Diámetro del disco	79 mm
Lectura mínima	1"/ 5" Selectiva
Exactitud	5"
Ángulo horizontal	Dual
Ángulo vertical	Dual
Telescopio	
Imagen	Positiva
Longitud del tubo	157 mm
Aumento múltiplo	30x
Campo visual	1°30'
Distancia mínima de enfoque	1,4 m
Eficiencia distinguida	3"
Constante de multiplicación (K)	100
Compensador automático	
Sistema	Sensor líquido-eléctrico
Rango de trabajo	±3'
Exactitud	1"

Sensibilidad de nivel	
Nivel de tubo largo	30"/ 2 mm
Nivel circular	10'/ 2 mm
Plomada óptica	
Imagen	Positiva
Aumento múltiplo	3x
Rango de enfoque	0,5 m ~∞
Campo visual	5°
Pantalla	
Tipo	Pantalla LCD por 2 lados
Batería de cargo	
Fuente de alimentación	Batería AA recargable Ni-H
Voltaje	VDC 6 V
Tiempo de funcionamiento	10 horas
Tamaño y peso	
Dimensión	L145 x H318 x W179 mm
Peso	5,2 kg

Fuente: <http://southinstrument.es/2-theodolite.html#2>. Consulta: julio de 2013.

Anexo 3. Especificaciones estatal APEX



Material: aluminio
Tipo: desplegable
Longitud: 4,00 m
Marcación: tipo "E"
Graduación: cm
Peso: 1,8 kg
Ancho: 57 mm

Fuente: <http://is.gd/E1ZLlq>. Consulta: 13 de septiembre de 2013.

Anexo 4. Nivel automático Sokkia C-31



Fuente: periférico de campus USAC.

Anexo 5. Especificaciones nivel automático Sokkia C-31

Aumentos del anteojo	24 X
Imagen	Directa
Poder de resolución del anteojo	4,0"
Distancia mínima de enfoque	0,3 m
Retículo	Cruz
Constante de multiplicación	100
Compensador	Magnético
Rango de trabajo compensador	15'

Precisión del compensador	±0,5"
Error por kilómetro en nivelación cerrada de 1 km	2,0 mm
Graduación círculo horizontal	1 gon
Sensibilidad nivel esférico	10'/2 mm
Tornillo movimientos Hoz.	Doble sin fin
Protección contra polvo y agua	IPX4
Peso	1,6 Kg

Fuente: http://www.culaciati.cl/itusNivelesAutomaticos_C31_C32.php.

Consulta: 15 de agosto de 2013.

Anexo 6. Estación total Leica TC307



Fuente: <http://www.instop.es/ofertas/images/TC305.jpg>. Consulta: septiembre de 2013.

Anexo 7. **Especificaciones estación total Leica TC307**

Anteojo	
Aumento	30x
Imagen	Derecha
Diámetro libre del objetivo	40 mm
Distancia mínima de enfoque	1,7 m
Enfoque	Fino
Campo visual	1°36'
Medida de ángulo	
Tipo	Absoluta continua
Tiempo de repetición	0,3 segundos
Unidades elegibles	360° (sexag.), 400 gon, 360° decimal, 6400 mil, V%, ±V
Desviación típica (según DIN 18723 / ISO 12857)	7"
Resolución de pantalla	gon 0,0005 360d 0,0005 360s 1" mil 0,01
Sensibilidad de los niveles	
Nivel esférico	6' / 2 mm
Nivel electrónico	20" / 2 mm
Plomada láser	
Ubicación	En alidada, giro con instrumento
Precisión	Diámetro de rotación máx. del punto láser:

	± 0,8 mm / 1,5 m
Diámetro del punto	2,5 mm / 1,5 m
Compensador	
Tipo	De dos ejes
Amplitud de oscilación libre	± 4'
Precisión de estabilización	2"
Teclado	
Ángulo de inclinación	70°
Superficie	110x75 mm
Número de teclas	12 + ON y disparador de medición en el lateral.
Pantalla	
Tipo	Pantalla LCD 144x64 Pixel
Líneas y caracteres	8 líneas de 24 caracteres cada una.
Dimensiones	
Altura (incl. base nivelante y asa)	357 mm ± 5 mm
Anchura	150 mm
Longitud	145 mm
Peso	
Peso (incluye batería y base nivelante)	4,68 kg
Alimentación eléctrica	
Batería	Ni+Mh (0% cadmio)

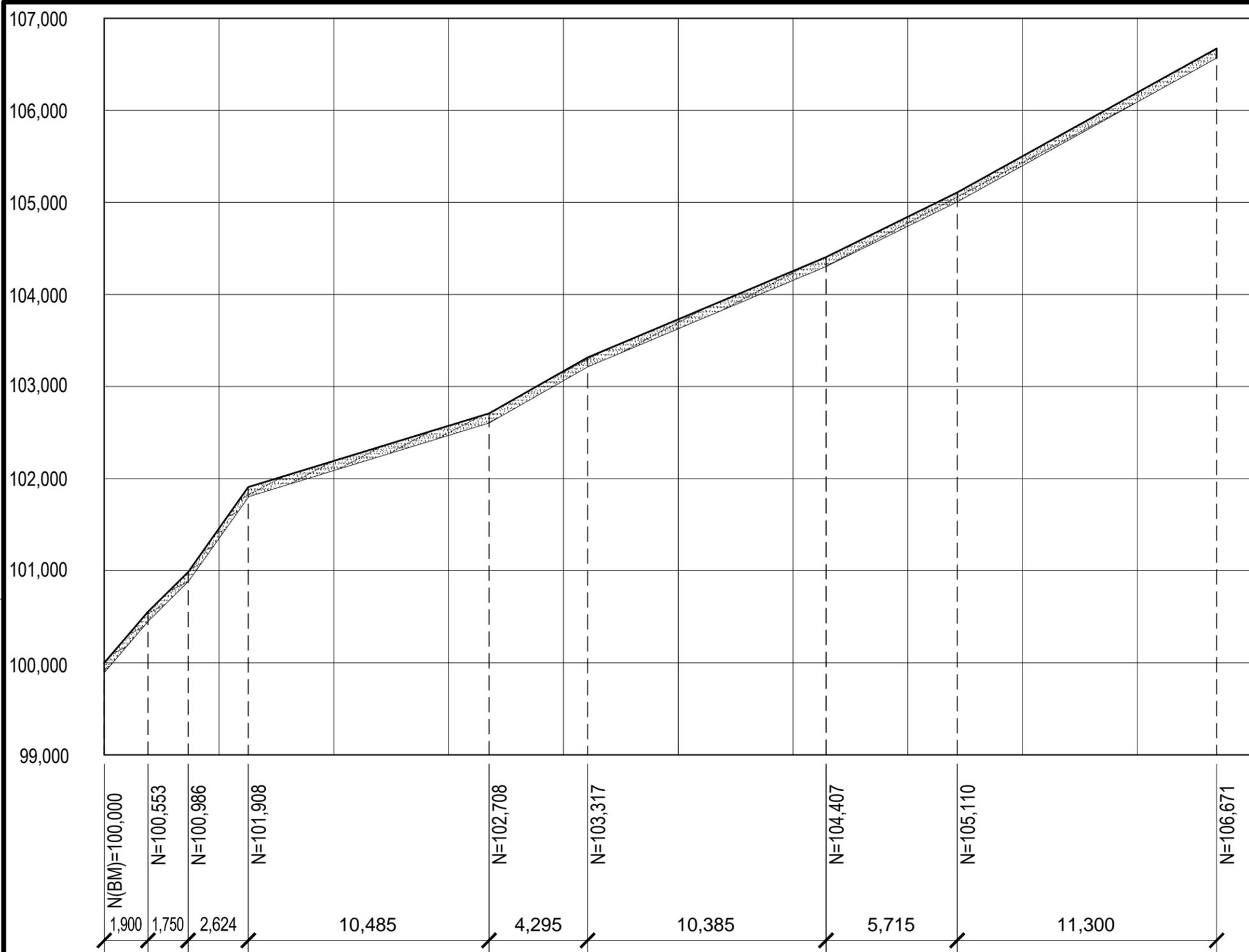
Continuación de anexo 7.

Tensión	6 V, 1800 mAh
Alimentación externa (vía interfaz serie)	La tensión ha de estar entre 11,5 V y 14 V (CC)
Numero de mediciones	
Ángulos	> 4 horas
Distancias	> 1000
Rango de temperaturas	
Almacén	-40° C a +70° C -40 F a +158 F
Funcionamiento	-20° C a +50° C -4 F a +122 F
Correcciones automáticas	
Error de colimación	Sí
Error de índice vertical	Sí
Curvatura terrestre	Sí
Refracción	Sí
Corrección de inclinaciones	Sí
Grabación	
Interfaz RS232	Sí
Memoria interna (flashmemory)	256 kB ~ 4000 bloque de datos ~ 7000 puntos fijos
Medición de distancias	
Tipo	IR: infrarrojo
Longitud de onda	0,780 µm
Sistema de medición	Frecuencia especial base 100 Mhz = 1,5 m
Disposición IEMD	Coaxial
Unidad mínima en pantalla	1 mm

Fuente: <http://is.gd/Pc6jIC>. Consulta: julio de 2013.

Anexo 8. Listado de planos

- Nivelación diferencial
- Nivelación por taquimetría
- Polígono por radiaciones con taquimetría
- Polígono por conservación del azimut con taquimetría
- Vías de comunicación con taquimetría
- Obra terminada con taquimetría
- Curvas de nivel con taquimetría
- Nivelación con estación total
- Polígono por radiaciones con estación total
- Polígono por conservación del azimut con estación total
- Vías de comunicación con estación total
- Obra terminada con estación total
- Curvas de nivel con estación total



PROYECTO:
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LEVANTAMIENTOS POR MÉTODO
TAQUIMÉTRICO Y LEVANTAMIENTOS EMPLEANDO ESTACIÓN TOTAL

PERFIL NIVELACIÓN DIFERENCIAL

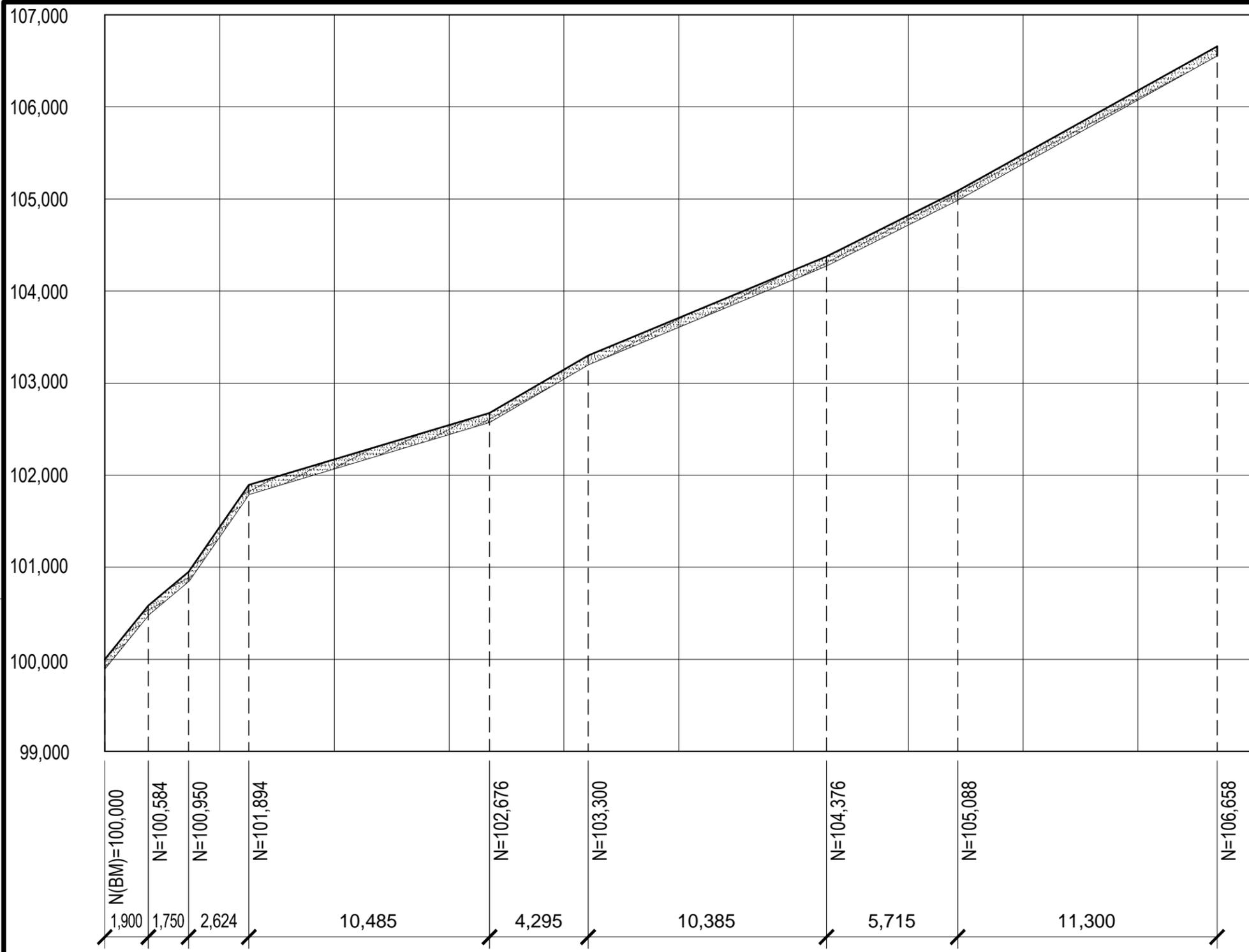
ESCALA HORIZONTAL: 1:200
ESCALA VERTICAL: 1:50

PLANO DE:
NIVELACIÓN DIFERENCIAL.

ANEXO:
8

Observaciones:

DISEÑO:	ELEAZAR NEFTALY MENDEZ.
DIBUJÓ:	ELEAZAR NEFTALY MENDEZ.
CALCULÓ:	ELEAZAR NEFTALY MENDEZ.
REVISÓ:	ING. ALFREDO BEBER.
ESCALA:	INDICADA
FECHA:	DICIEMBRE.2013



PROYECTO:
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LEVANTAMIENTOS POR MÉTODO
TAQUIMÉTRICO Y LEVANTAMIENTOS EMPLEANDO ESTACIÓN TOTAL

PERFIL NIVELACIÓN POR TAQUIMETRÍA

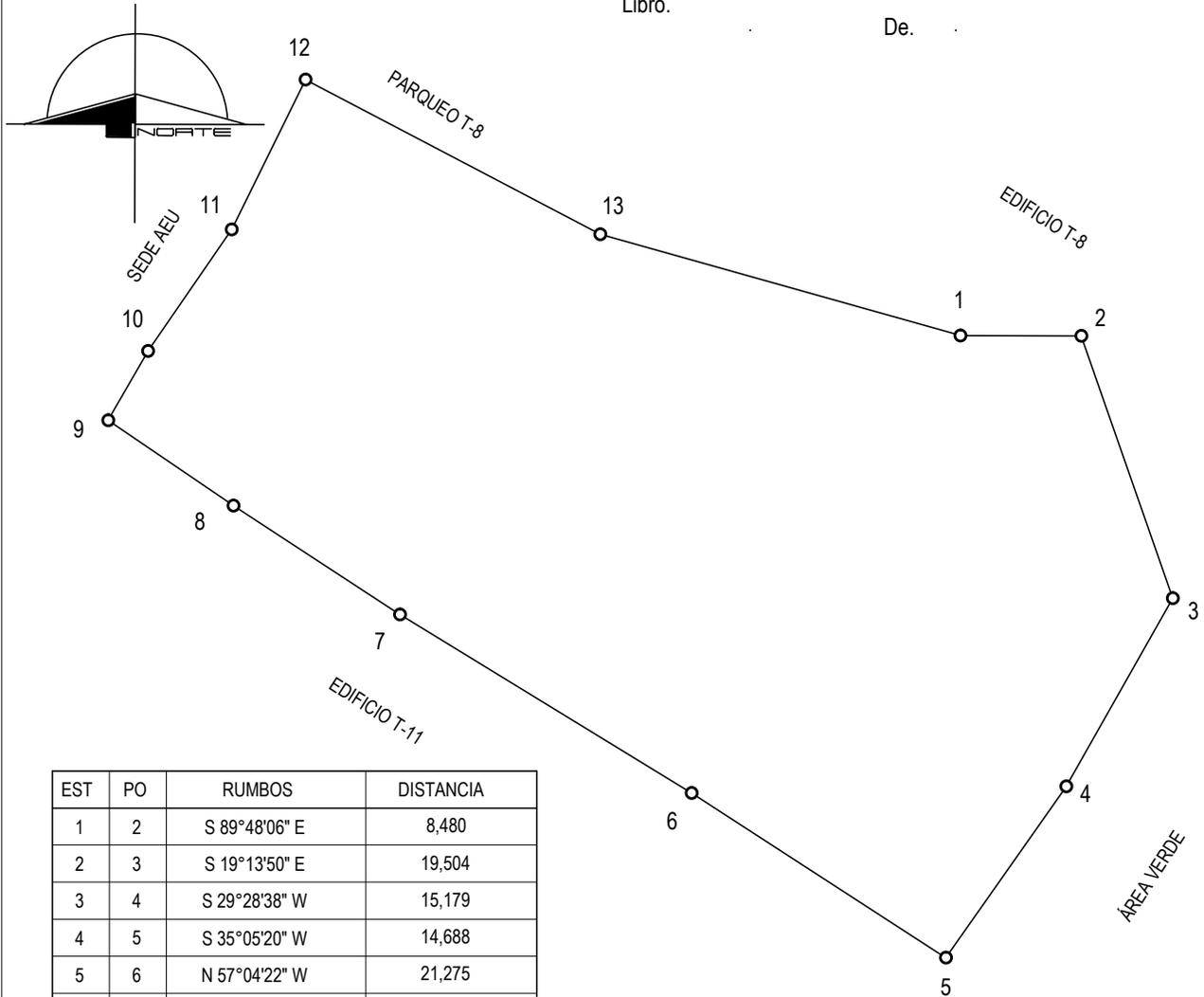
ESCALA HORIZONTAL: 1:200
ESCALA VERTICAL: 1:50

PLANO DE:
NIVELACIÓN POR TAQUIMETRÍA.

ANEXO:
9

Observaciones:

DISEÑO:	ELEAZAR NEFTALY MENDEZ.
DIBUJÓ:	ELEAZAR NEFTALY MENDEZ.
CALCULÓ:	ELEAZAR NEFTALY MENDEZ.
REVISÓ:	ING. ALFREDO BEBER.
ESCALA:	INDICADA
FECHA:	DICIEMBRE.2013



EST	PO	RUMBOS	DISTANCIA
1	2	S 89°48'06" E	8,480
2	3	S 19°13'50" E	19,504
3	4	S 29°28'38" W	15,179
4	5	S 35°05'20" W	14,688
5	6	N 57°04'22" W	21,275
6	7	N 58°31'03" W	23,986
7	8	N 56°48'12" W	13,966
8	9	N 55°45'46" W	10,641
9	10	N 29°58'28" E	5,622
10	11	N 34°29'55" E	10,351
11	12	N 26°11'59" E	11,725
12	13	S 62°18'30" E	23,370
13	1	S 74°17'16" E	26,246

ÁREA = 2337,901 m² = 3345,887 vrs²

PLANO: POLÍGONO POR RADIACIONES CON TAQUIMETRÍA.

Fca.

No.

Fol.

Libro.

De.

UBICACIÓN: Interior Universidad de San Carlos, Zona 12, Ciudad de Guatemala, entre edificios T-11 y T-8.

OTORGANTE:

ADQUIRIENTE:

ÁREA: 2337,901 m² = 3345,887 vrs²

ESCALA: 1:500

FECHA: Diciembre 2013.

Nos

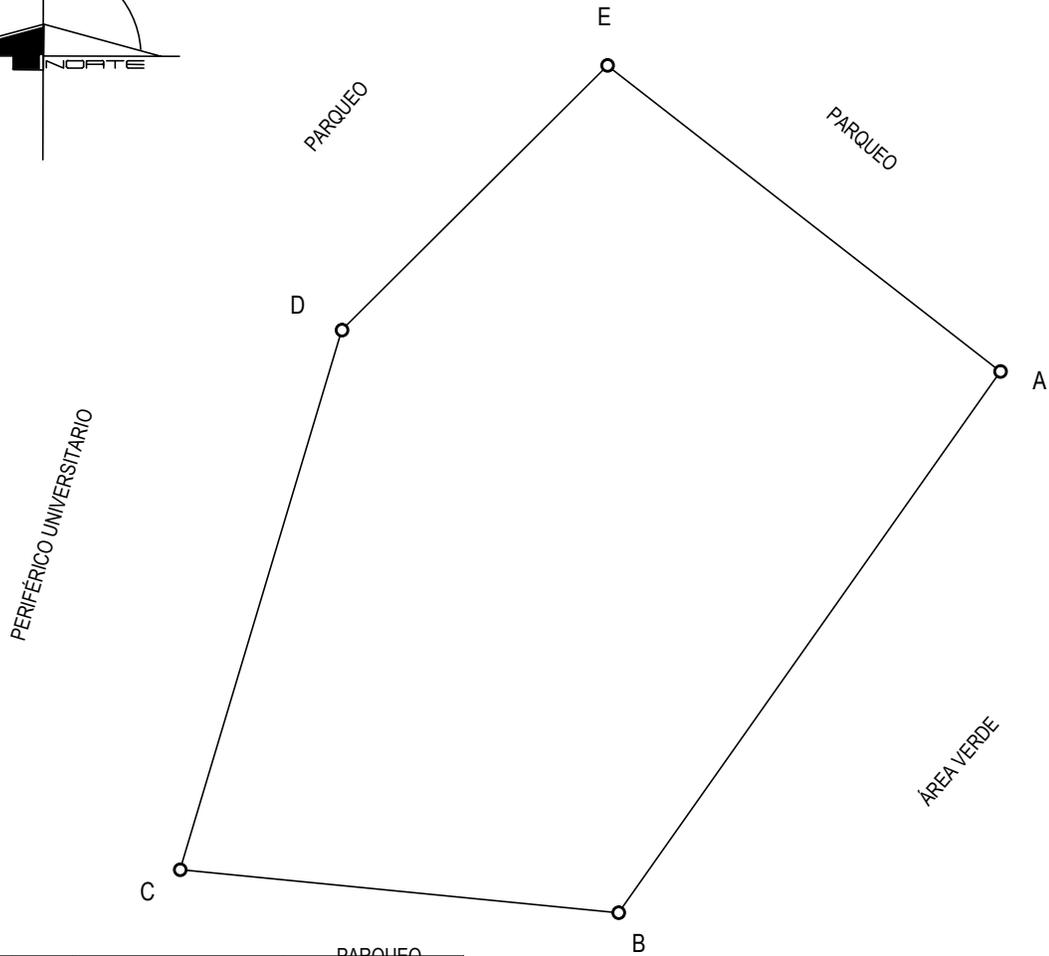
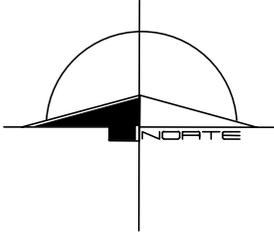
Plano

Archivo

PROPIETARIO

ANEXO:

10



EST	PO	RUMBOS	PARQUEO DISTANCIA
A	B	S 35°10'56"E	44,054
B	C	N 84°24'17" W	29,291
C	D	N 16°39'54" E	37,473
D	E	N 45°06'46" E	24,945
E	A	S 52°04'05" E	33,109

ÁREA = 1771,536 m² = 2535,333 vrs²

PLANO: POLÍGONO POR CONSERVACIÓN DEL AZIMUT CON TAQUIMETRÍA.

Fca.

No.

Fol.

Libro.

De.

UBICACIÓN: Interior Universidad de San Carlos, Zona 12, Ciudad de Guatemala, edificio nuevo de CII.

OTORGANTE:

ADQUIRIENTE:

ÁREA: 1771.536 m² = 2535.333 vrs²

ESCALA: 1:500

FECHA: Diciembre 2013.

Plano

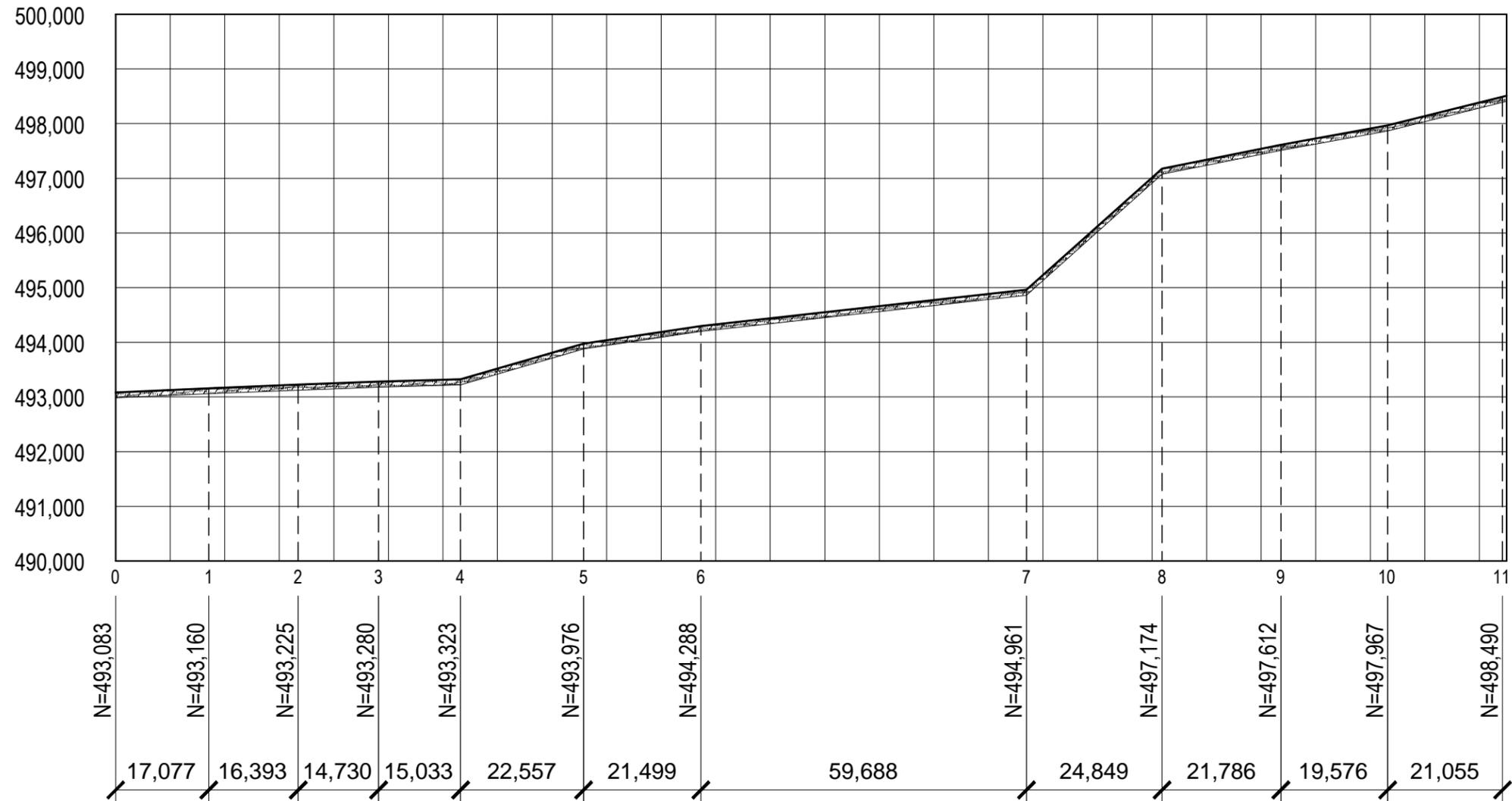
Archivo

PROPIETARIO

ANEXO:

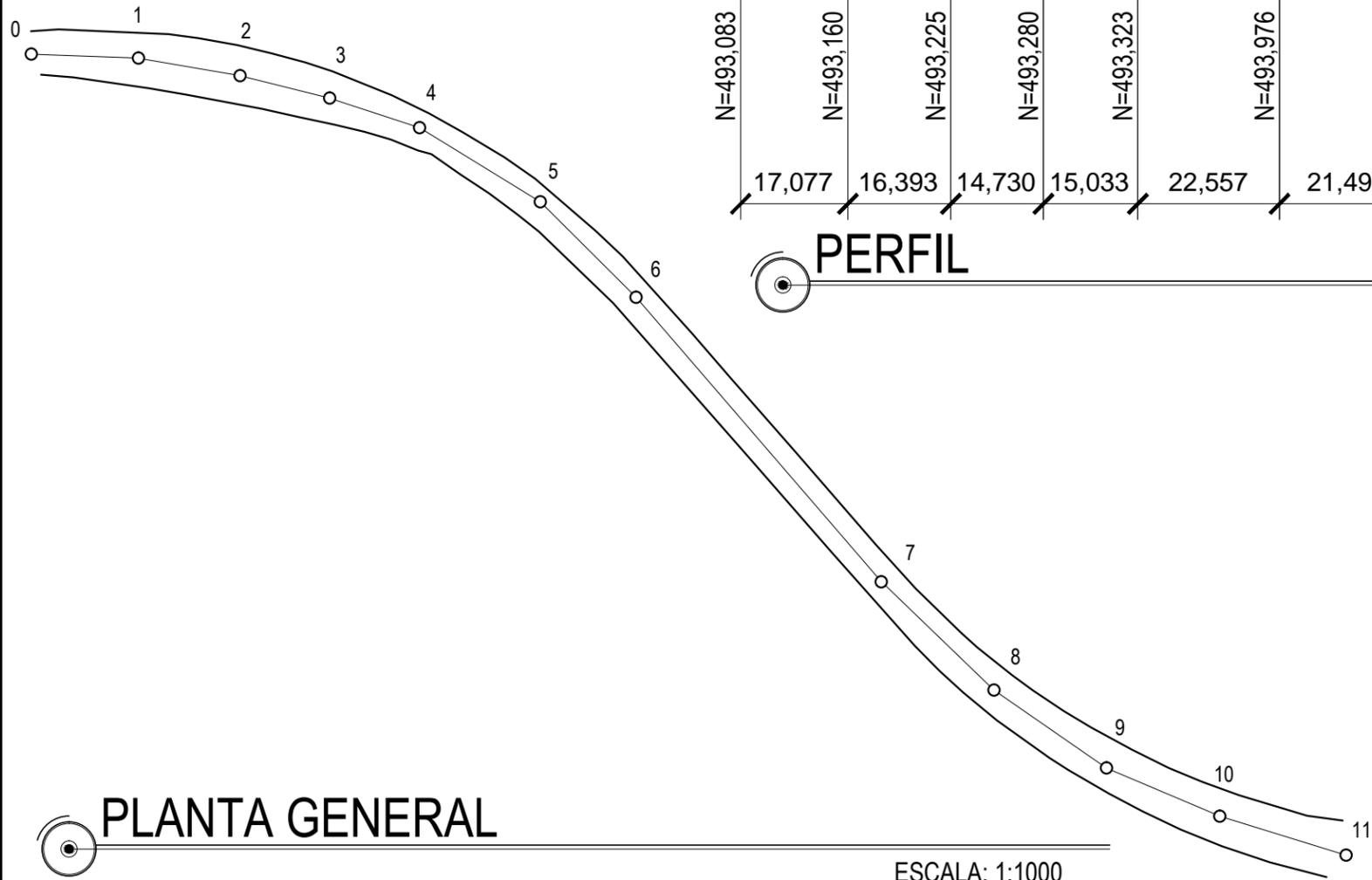
11

EST	PO	RUMBOS	DISTANCIA
0	1	S 87°52'34" E	17,077
1	2	S 80°12'4" E	16,393
2	3	S 76°1'34" E	14,730
3	4	S 71°50'57" E	15,033
4	5	S 58°29'22" E	22,557
5	6	S 45°15'8" E	21,499
6	7	S 40°49'26" E	59,688
7	8	S 46°10'4" E	24,849
8	9	S 55°21'57" E	21,786
9	10	S 67°4'27" E	19,576
10	11	S 72°49'21" E	21,055



PERFIL

ESCALA HORIZONTAL: 1:1000
 ESCALA VERTICAL: 1:100



PLANTA GENERAL

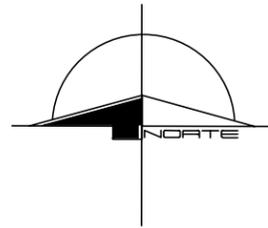
PROYECTO:
 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LEVANTAMIENTOS POR MÉTODO
 TAQUIMÉTRICO Y LEVANTAMIENTOS EMPLEANDO ESTACIÓN TOTAL

PLANO DE:
**VÍAS DE COMUNICACIÓN
 CON TAQUIMETRÍA.**

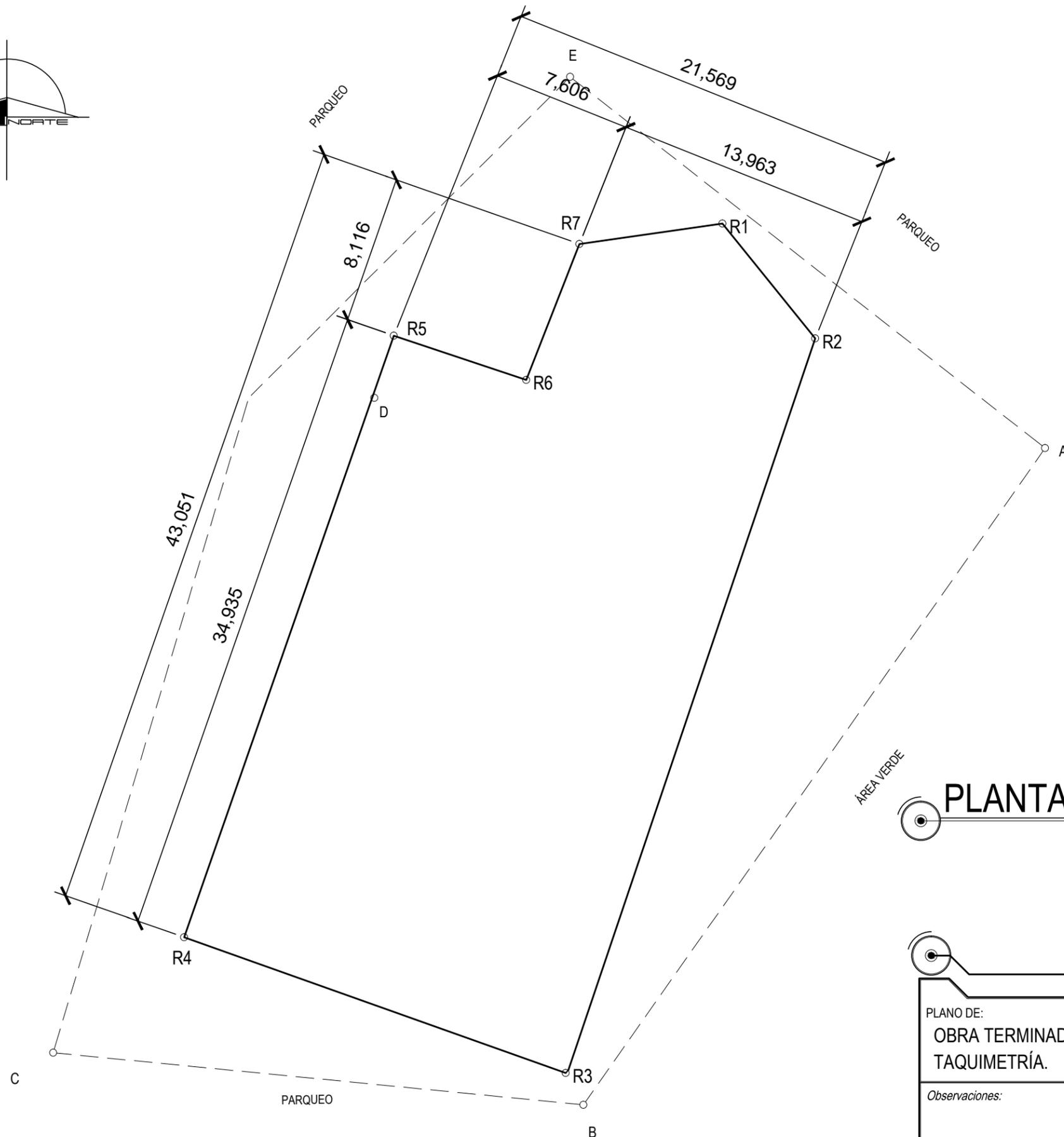
ANEXO:
12

Observaciones:

DISEÑO: ELEAZAR NEFTALY MENDEZ.
 DIBUJÓ: ELEAZAR NEFTALY MENDEZ.
 CALCULÓ: ELEAZAR NEFTALY MENDEZ.
 REVISÓ: ING. ALFREDO BEBER.
 ESCALA: INDICADA
 FECHA: DICIEMBRE.2013



PERIFÉRICO UNIVERSITARIO



EST	PO	RUMBOS	DISTANCIA
A	B	S 35°10'56" E	44.054
B	C	N 84°24'17" W	29.291
C	D	N 16°39'54" E	37.473
D	E	N 45°06'46" E	24.945
E	A	S 52°04'05" E	33.109

ÁREA = 1771.536 m² = 2535.333 vrs²

PLANTA DE OBRA TERMINADA

ESCALA: 1:250

PROYECTO:
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LEVANTAMIENTOS POR MÉTODO
TAQUIMÉTRICO Y LEVANTAMIENTOS EMPLEANDO ESTACIÓN TOTAL

PLANO DE:
OBRA TERMINADA CON
TAQUIMETRÍA.

ANEXO:
13

Observaciones:

DISEÑO: ELEAZAR NEFTALY MENDEZ.

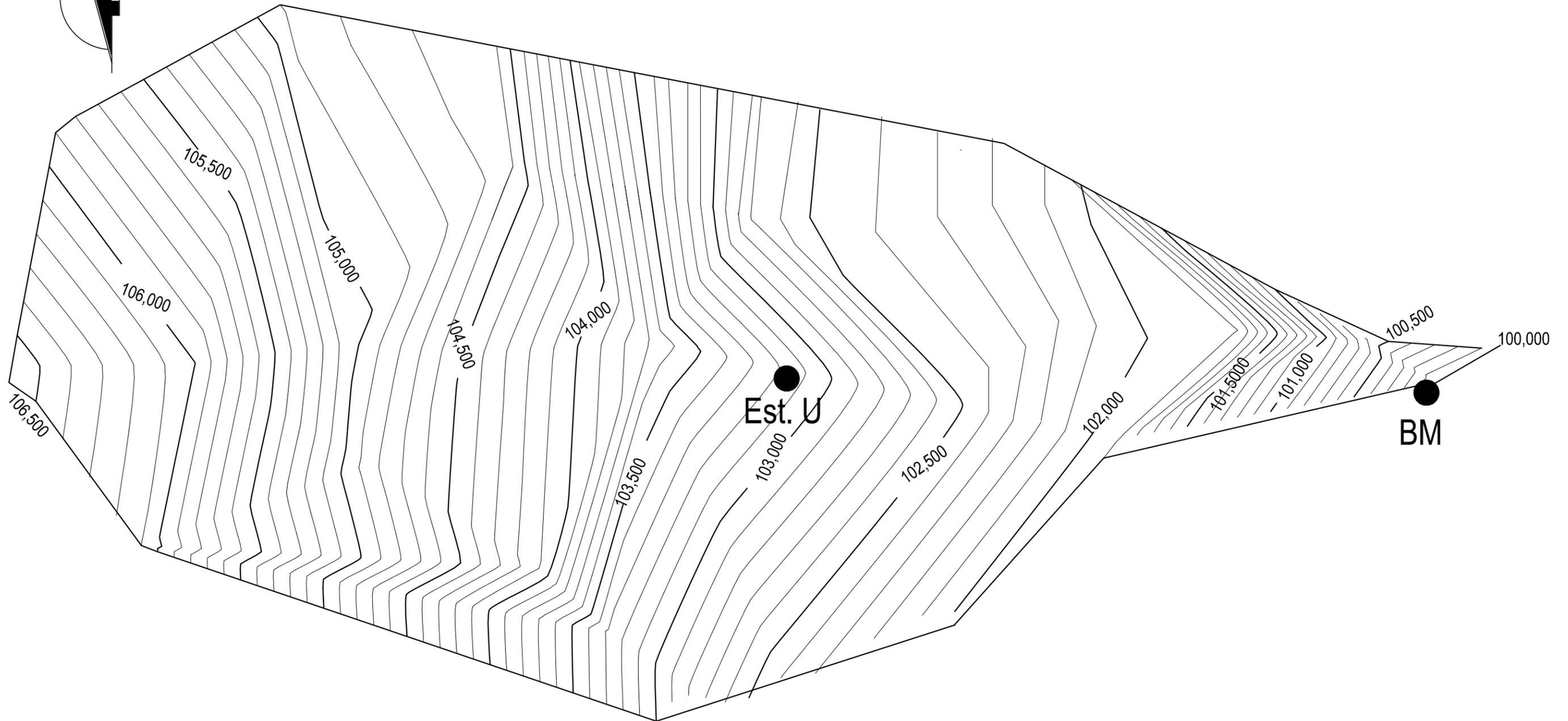
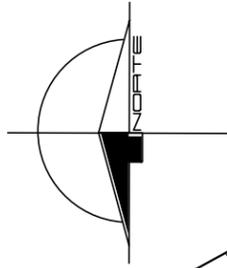
DIBUJÓ: ELEAZAR NEFTALY MENDEZ.

CALCULÓ: ELEAZAR NEFTALY MENDEZ.

REVISÓ: ING. ALFREDO BEBER.

ESCALA: INDICADA

FECHA: DICIEMBRE.2013



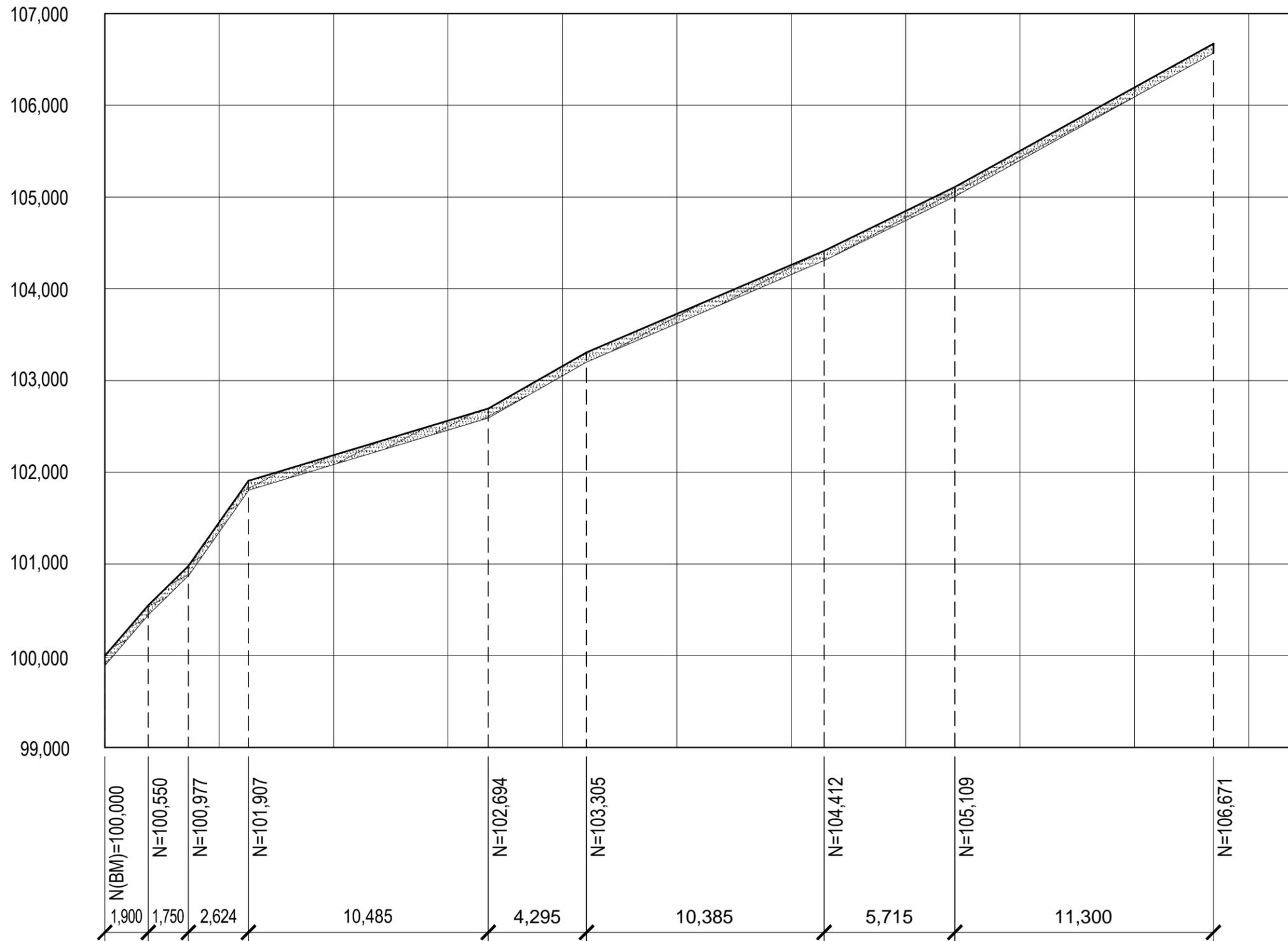
CURVAS DE NIVEL

ESCALA: 1:250

PROYECTO:
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LEVANTAMIENTOS POR MÉTODO
TAQUIMÉTRICO Y LEVANTAMIENTOS EMPLEANDO ESTACIÓN TOTAL

PLANO DE: CURVAS DE NIVEL CON TAQUIMETRÍA	ANEXO: 14
Observaciones:	

DISEÑO:	ELEAZAR NEFTALY MENDEZ.
DIBUJÓ:	ELEAZAR NEFTALY MENDEZ.
CALCULÓ:	ELEAZAR NEFTALY MENDEZ.
REVISÓ:	ING. ALFREDO BEBER.
ESCALA:	INDICADA
FECHA:	DICIEMBRE.2013



PROYECTO:
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LEVANTAMIENTOS POR MÉTODO
TAQUIMÉTRICO Y LEVANTAMIENTOS EMPLEANDO ESTACIÓN TOTAL

PLANO DE:
**NIVELACIÓN CON
ESTACIÓN TOTAL.**

ANEXO:
15

Observaciones:

DISEÑO: ELEAZAR NEFTALY MENDEZ.
DIBUJÓ: ELEAZAR NEFTALY MENDEZ.
CALCULÓ: ELEAZAR NEFTALY MENDEZ.
REVISÓ: ING. ALFREDO BEBER.
ESCALA: INDICADA
FECHA: DICIEMBRE.2013

PERFIL NIVELACIÓN CON ESTACIÓN TOTAL

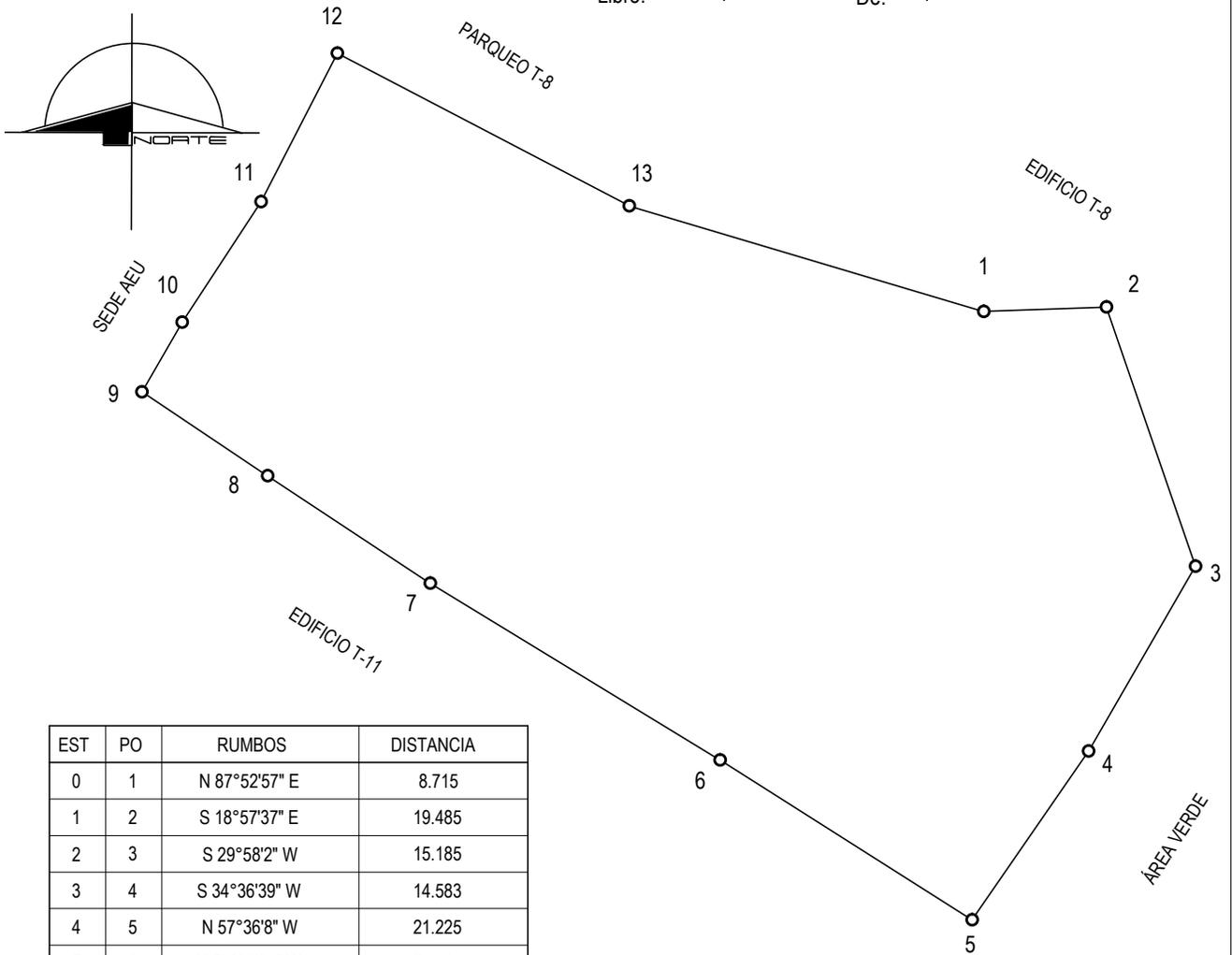
ESCALA HORIZONTAL: 1:200
ESCALA VERTICAL: 1:50

REGISTRO GENERAL
DE LA PROPIEDAD

Fca.
Libro.

No.
De.

Fol.



EST	PO	RUMBOS	DISTANCIA
0	1	N 87°52'57" E	8.715
1	2	S 18°57'37" E	19.485
2	3	S 29°58'2" W	15.185
3	4	S 34°36'39" W	14.583
4	5	N 57°36'8" W	21.225
5	6	N 58°36'34" W	24.131
6	7	N 56°32'51" W	13.843
7	8	N 55°57'10" W	10.770
8	9	N 31°8'12" E	5.684
9	10	N 34°34'46" E	10.344
10	11	N 25°28'47" E	11.804
11	12	S 62°21'29" E	23.414
12	0	S 73°23'30" E	26.289

AREA = 2338.647 m² = 3346.955 vrs²

PLANO: POLÍGONO POR RADIACIONES CON ESTACIÓN TOTAL.

Fca.

No.

Fol.

Libro.

De.

UBICACIÓN: Interior Universidad de San Carlos, Zona 12, Ciudad de Guatemala, entre edificios T-11 y T-8.

OTORGANTE:

ADQUIRIENTE:

ÁREA: 2338.647 m² = 3346.955 vrs²

ESCALA: 1:500

FECHA: Diciembre 2013.

Nos

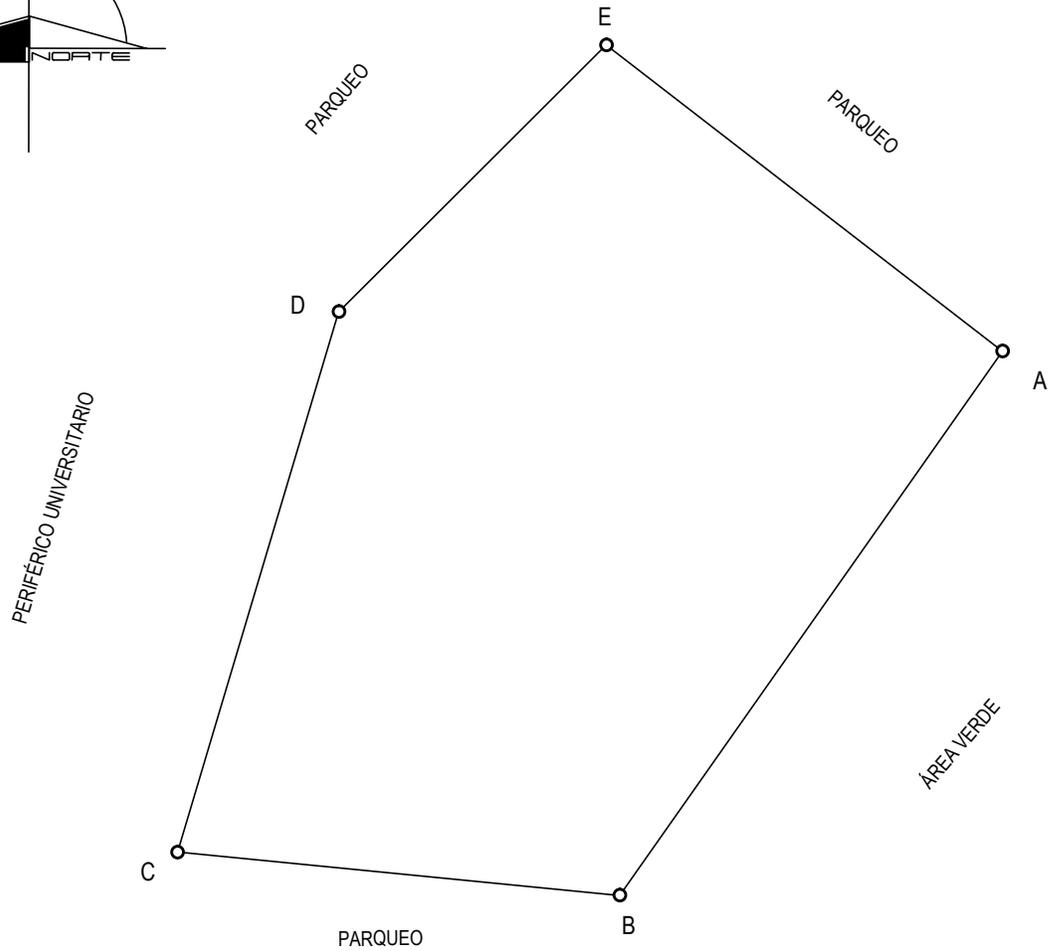
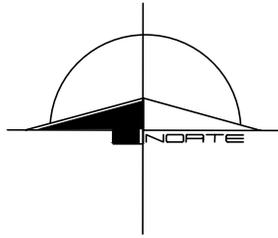
Plano

Archivo

PROPIETARIO

ANEXO:

16



EST	PO	RUMBOS	DISTANCIA
A	B	S 35°10'40" W	44.410
B	C	N 83°54'56" W	29.351
C	D	N 17°25'58" E	37.458
D	E	N 43°47'48" E	24.852
E	A	S 52°7'58" E	33.377

AREA = 1774,514 m² = 2539,596 vrs²

PLANO: POLÍGONO POR CONSERVACIÓN DEL AZIMUT CON ESTACIÓN TOTAL.

Fca.

No.

Fol.

Libro.

De.

UBICACIÓN: Interior Universidad de San Carlos, Zona 12, Ciudad de Guatemala, edificio nuevo de CII.

OTORGANTE:

ADQUIRIENTE:

ÁREA: 1773,514 m² = 2539,596 vrs²

ESCALA: 1:500

FECHA: Diciembre 2013.

Nos

Plano

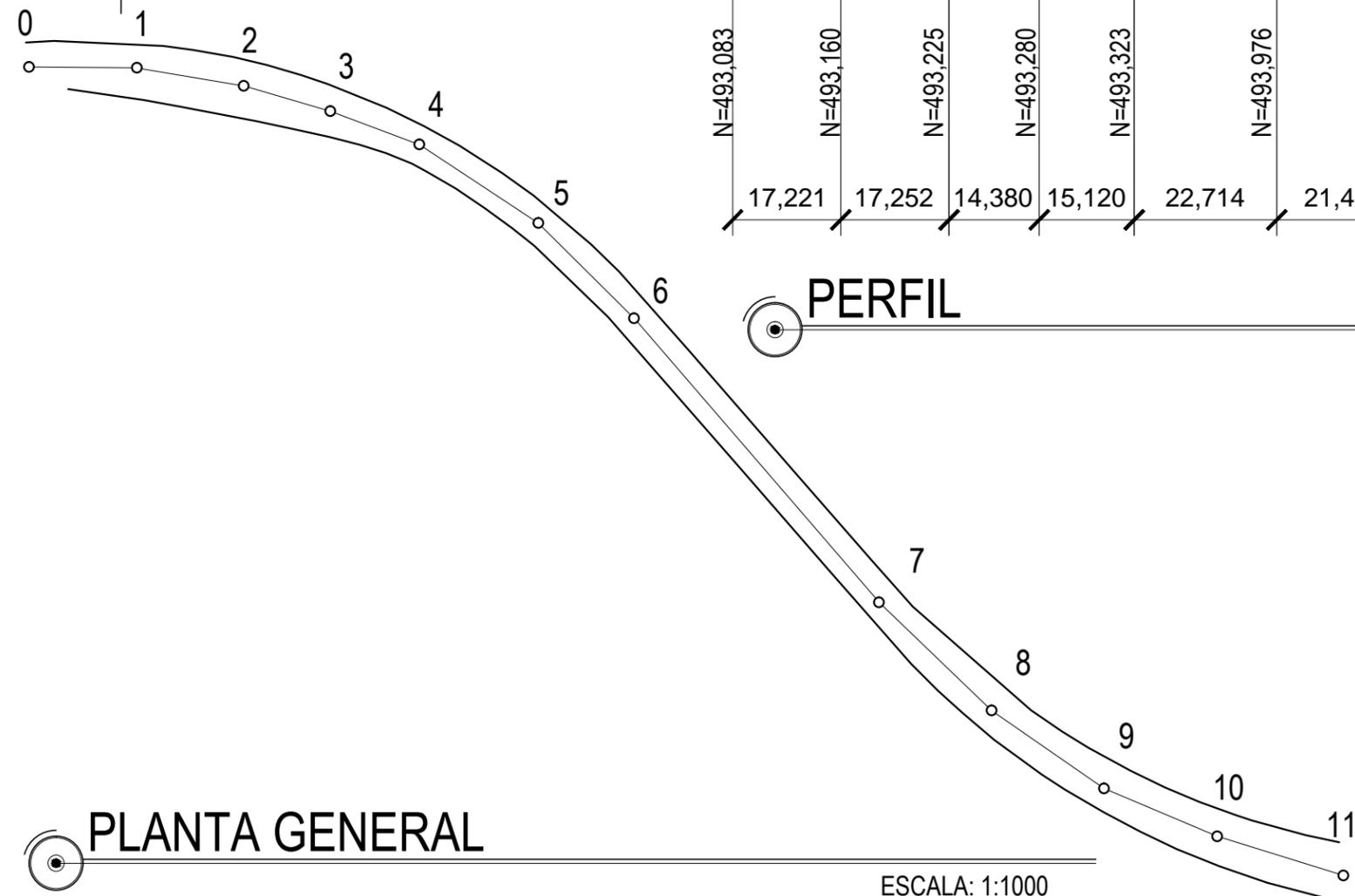
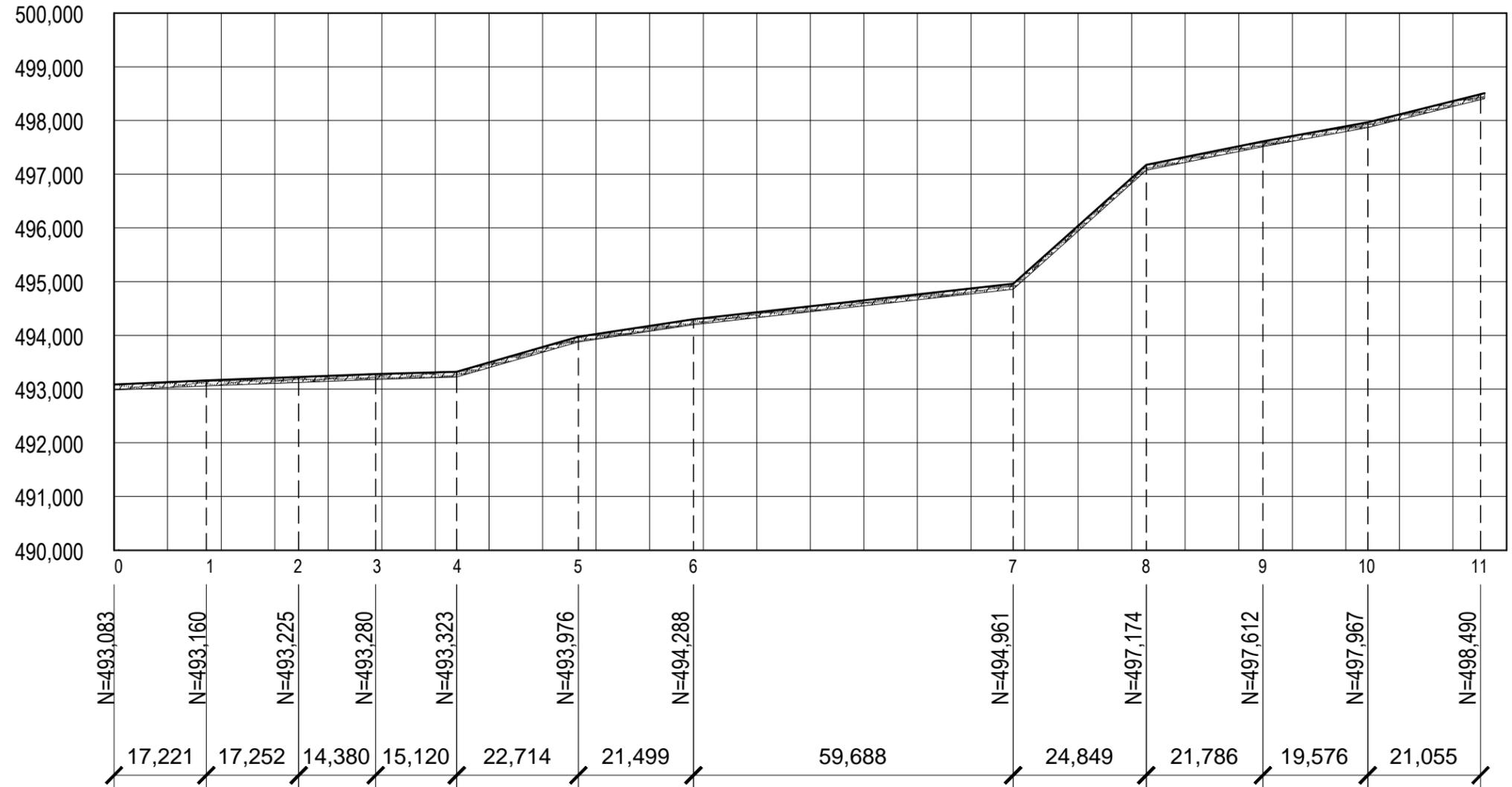
Archivo

PROPIETARIO

ANEXO:

17

EST	PO	RUMBOS	DISTANCIA
0	1	S 89°30'17" E	17,221
1	2	S 80°25'28" E	17,252
2	3	S 73°42'20" E	14,380
3	4	S 69°33'34" E	15,120
4	5	S 56°36'49" E	22,714
5	6	S 45°15'08" E	21,499
6	7	S 40°49'26" E	59,688
7	8	S 46°10'04" E	24,849
8	9	S 55°21'57" E	21,786
9	10	S 67°04'27" E	19,576
10	11	S 72°49'21" E	21,055



PERFIL

ESCALA HORIZONTAL: 1:1000
 ESCALA VERTICAL: 1:100

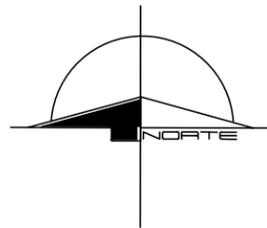
PROYECTO:
 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LEVANTAMIENTOS POR MÉTODO
 TAQUIMÉTRICO Y LEVANTAMIENTOS EMPLEANDO ESTACIÓN TOTAL

PLANO DE:
**VIAS DE COMUNICACIÓN
 CON ESTACIÓN TOTAL.**

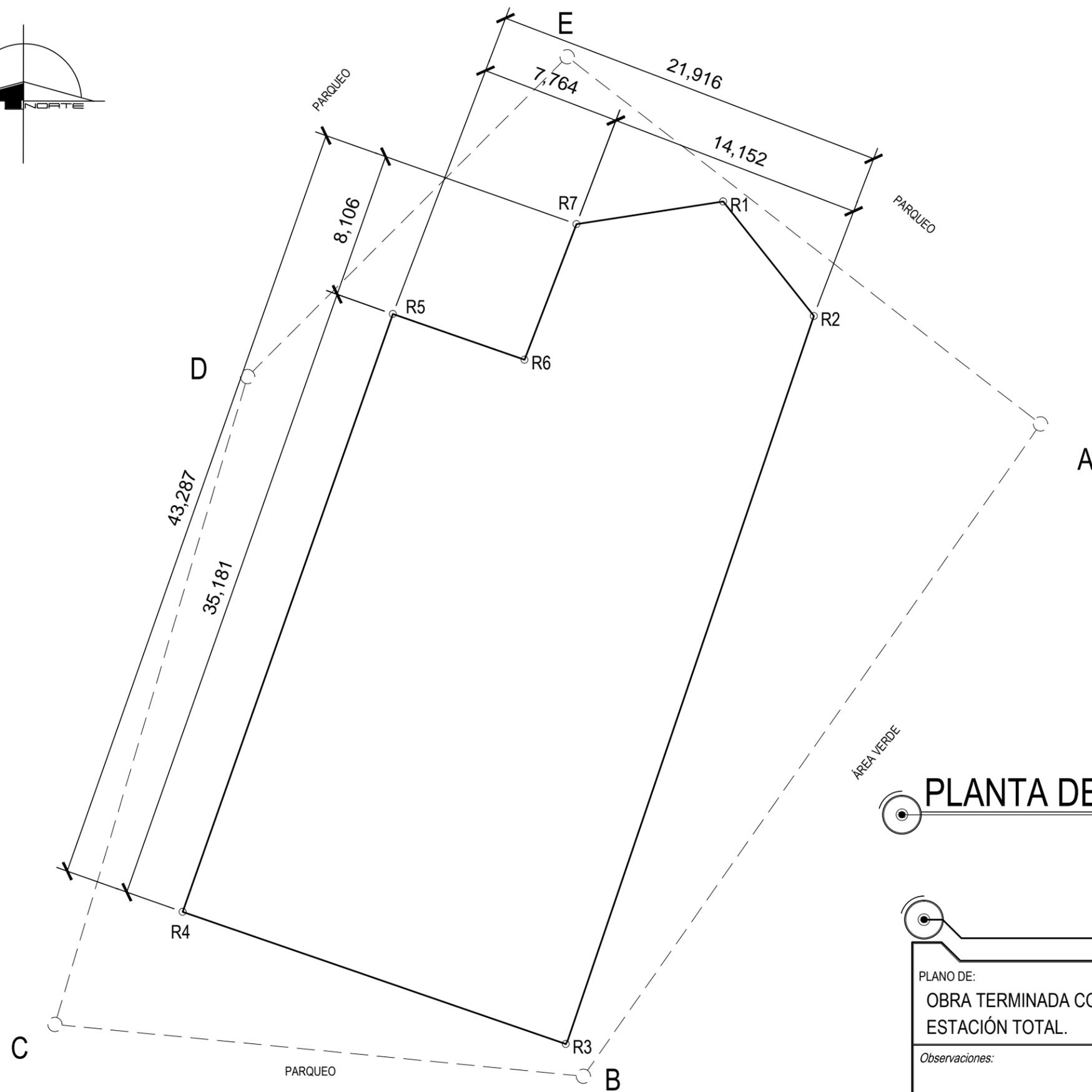
ANEXO:
18

Observaciones:

DISEÑO: ELEAZAR NEFTALY MENDEZ.
 DIBUJÓ: ELEAZAR NEFTALY MENDEZ.
 CALCULÓ: ELEAZAR NEFTALY MENDEZ.
 REVISÓ: ING. ALFREDO BEBER.
 ESCALA: INDICADA
 FECHA: DICIEMBRE.2013



PERIFÉRICO UNIVERSITARIO



EST	PO	RUMBOS	DISTANCIA
A	B	S 35°10'40" W	44.410
B	C	N 83°54'56" W	29.351
C	D	N 17°25'58" E	37.458
D	E	N 43°47'48" E	24.852
E	A	S 52°7'58" E	33.377

AREA = 1774,514 m² = 2539,596 vrs²

PLANTA DE OBRA TERMINADA

ESCALA: 1:250

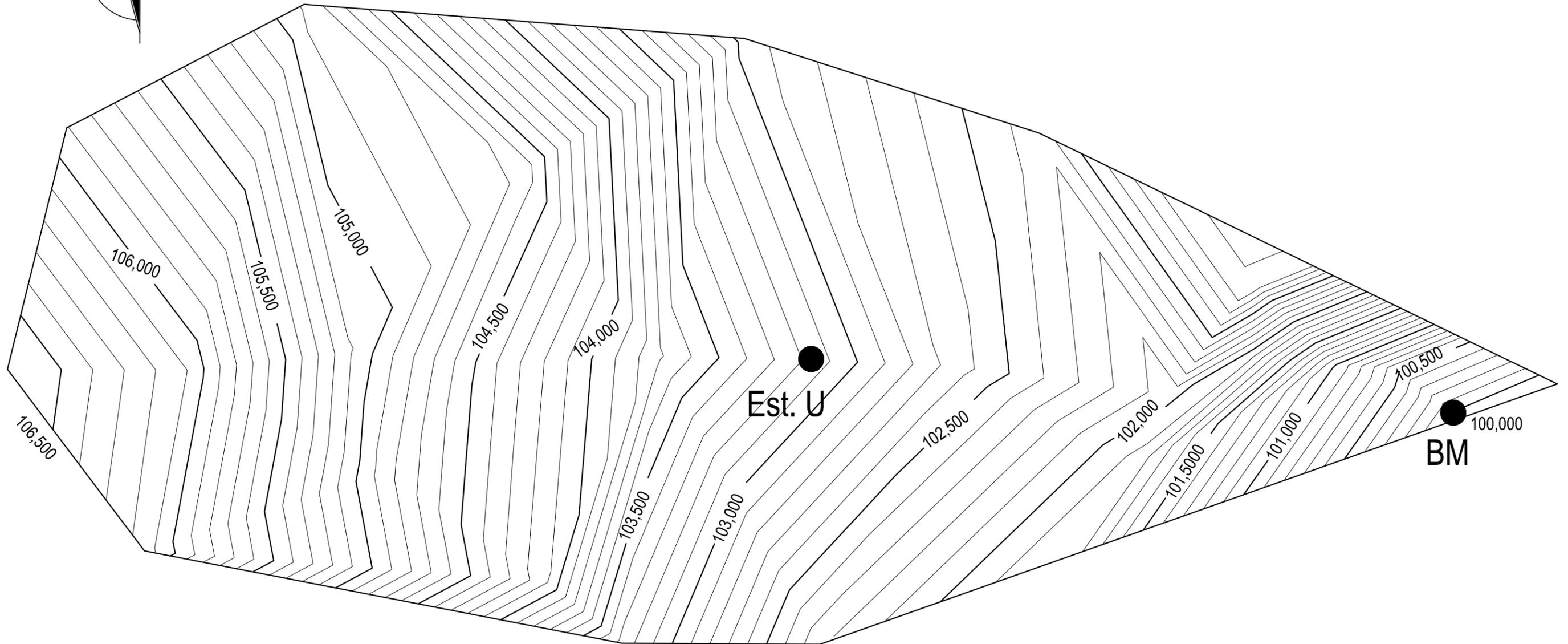
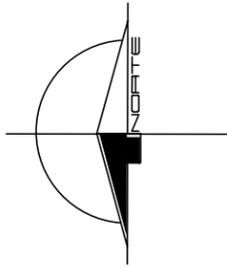
PROYECTO:
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LEVANTAMIENTOS POR MÉTODO
TAQUIMÉTRICO Y LEVANTAMIENTOS EMPLEANDO ESTACIÓN TOTAL

PLANO DE:
OBRA TERMINADA CON
ESTACIÓN TOTAL.

ANEXO:
19

Observaciones:

DISEÑO: ELEAZAR NEFTALY MENDEZ.
DIBUJÓ: ELEAZAR NEFTALY MENDEZ.
CALCULÓ: ELEAZAR NEFTALY MENDEZ.
REVISÓ: ING. ALFREDO BEBER.
ESCALA: INDICADA
FECHA: DICIEMBRE.2013



CURVAS DE NIVEL

ESCALA: 1:250



PROYECTO:
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LEVANTAMIENTOS POR MÉTODO
TAQUIMÉTRICO Y LEVANTAMIENTOS EMPLEANDO ESTACIÓN TOTAL

PLANO DE: CURVAS DE NIVEL CON ESTACIÓN TOTAL.	ANEXO: 20
<i>Observaciones:</i>	

DISEÑO:	ELEAZAR NEFTALY MENDEZ.
DIBUJÓ:	ELEAZAR NEFTALY MENDEZ.
CALCULÓ:	ELEAZAR NEFTALY MENDEZ.
REVISÓ:	ING. ALFREDO BEBER.
ESCALA:	INDICADA
FECHA:	DICIEMBRE.2013

