



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

**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA
ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS EN GUATEMALA**

Luis Eduardo Nájera Ortega
Asesorado por el Ing. Jorge Juárez Ortega

Guatemala, octubre de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA
ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS EN GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

LUIS EDUARDO NÁJERA ORTEGA

ASESORADO POR EL ING. JORGE JUÁREZ ORTEGA

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. Carlos Salvador Gordillo García
EXAMINADOR	Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila
EXAMINADOR	Ing. Marco Antonio García Díaz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

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:

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS EN GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 31 de octubre de 2013.

Luis Eduardo Nájera Ortega

Guatemala, 10 de agosto de 2014

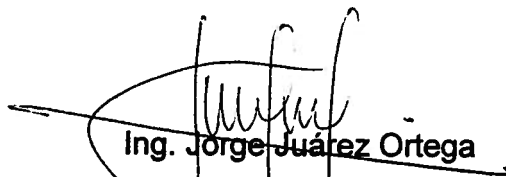
Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila
Coordinador del Área de Topografía y Transporte
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería

Ingeniero Arriola:

Me dirijo a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación **ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS EN GUATEMALA** elaborado por el estudiante Luis Eduardo Nájera Ortega con carné 200924730. Considerando que este trabajo de graduación se ha desarrollado satisfactoriamente me permito aprobarlo en calidad de asesor del mismo.

Agradezco a usted la atención a la presente.

Atentamente


Ing. Jorge Juárez Ortega
Colegiado No. 6266
Asesor

Jorge Juárez Ortega
Ingeniero Civil
Col. No. 6266



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,
 26 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 **ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS EN GUATEMALA**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Luis Eduardo Nájera Ortega, quien contó con la asesoría del Ing. Jorge Juárez Ortega.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área 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

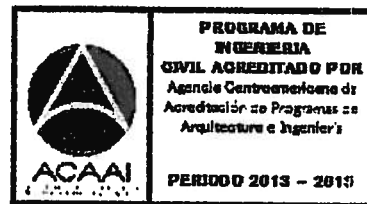
Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila
 Coordinador del Área de Topografía y Transportes



FACULTAD DE INGENIERIA
 DEPARTAMENTO
 DE
 TRANSPORTES
 USAC

bbdeb.

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. Jorge Juárez Ortega y del Coordinador del Área de Topografía y Transportes, Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila, al trabajo de graduación del estudiante Luis Eduardo Nájera Ortega, titulado **ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS EN GUATEMALA**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

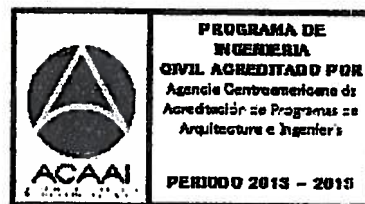
[Handwritten signature]
 Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, octubre 2014.

/bbdeb.

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





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS EN GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Luis Eduardo Nájera Ortega**, 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 Paiz Recinos
Decano

Guatemala, octubre de 2014



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por la vida, y guiarme en cada paso que doy.
Mi padre	Luis Nájera, por su esfuerzo y amor incondicional, que me han permitido alcanzar esta meta.
Mi madre	Clara Luz Ortega, una fuente de inspiración (q.e.p.d.).
Mi abuela	Josefina Paniagua, un ángel más en el cielo (q.e.p.d.).
Mis abuelos	Antonio Nájera y Baudilia Orantes de Nájera
Mi tía	Aracely Ortega, por su cariño y apoyo.
Mis hermanos	Marco y Marissabel Nájera.
Mis primos	Jorge, Lesbia y Claudia Juárez.
Mis sobrinos	Por ser la luz de la familia. Pablo Flores Juárez y Xavier Andrés Nájera.

Mis tías

Elsa Nájera, Roksana Nájera, Esperanza Nájera, Miriam Chacón, Ana María Nájera.

Mis amigos

Por acompañarme en este camino, especialmente a José Ernesto Guillén, José Carlos Guarcas, Omar Mazariegos, Axel Trujillo, Sergio Berducido, Víctor Hernández, Aneliz Mota, Mynor Carrillo, Leonel Aguirre, Rubí Gómez, Evelyn Contreras, Jacobo García.

AGRADECIMIENTOS A:

Ing. Jorge Juárez	Por su asesoría y consejos a lo largo de la carrera
Facultad de Ingeniería	Por la enseñanza y ser parte de mi formación como profesional.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por permitirme terminar mis estudios y ser mi segunda casa durante estos años.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. UNIDADES E INSTRUMENTAL.....	1
1.1. Sistema de unidades	1
1.2. Sistema de referencia.....	2
1.2.1. Sistema de referencia local con GPS	4
1.3. Planificación	5
1.4. Equipos topográficos y software.....	5
2. SISTEMA DE POSICIONAMIENTO POR SATÉLITES GPS	11
2.1. Generalidades	11
2.2. Receptores y software GPS	13
2.2.1. Receptores	13
2.2.2. Software	14
2.3. Métodos de medición	15
2.4. Exigencias y tolerancias	16
2.4.1. Poligonal y red GPS	18
2.5. Procedimientos de terreno.....	19
2.6. Procesamiento de archivos	20
2.7. Registros y archivos GPS.....	20

2.8.	Transformación a coordenadas planas topográficas.....	21
3.	LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS.....	25
3.1.	Generalidades.....	25
3.2.	Levantamiento de áreas.....	25
3.3.	Levantamiento de perfiles topográficos.....	26
4.	TRIANGULACIONES Y TRILATERACIONES.....	29
4.1.	Generalidades.....	29
4.2.	Triangulación.....	29
4.3.	Trilateración.....	33
4.3.1.	Trilateraciones primarias.....	34
4.3.2.	Trilateraciones corrientes.....	35
5.	POLIGONAL TOPOGRÁFICA.....	37
5.1.	Generalidades.....	37
5.2.	Tolerancias.....	38
5.2.1.	Poligonal abierta.....	38
5.2.2.	Poligonal cerrada.....	39
5.3.	Compensación.....	41
5.3.1.	Compensación angular.....	41
5.3.2.	Compensación de coordenadas.....	42
6.	NIVELACIONES.....	43
6.1.	Generalidades.....	43
6.2.	Nivelación geométrica.....	43
6.2.1.	Monumentación.....	44
6.2.2.	Métodos de medición.....	45
6.2.3.	Tolerancias.....	47

6.2.4.	Compensación.....	47
6.2.5.	Otras formas de nivelación	48
7.	MONOLITOS Y PUNTOS DE REFERENCIA.....	51
7.1.	Generalidades	51
7.2.	Monolito de triangulación.....	51
7.3.	Puntos de referencia (banco de marca).....	52
7.4.	Monografías (libretas de campo)	52
8.	ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS PARA SISTEMAS HIDRÁULICOS	53
8.1.	Levantamientos topográficos para sistemas de agua potable.....	53
8.2.	Levantamientos topográficos para sistemas de drenajes	55
9.	BATIMETRÍA EN RÍOS Y EMBALSES.....	57
9.1.	Batimetría con estación total	59
9.2.	Batimetría con GPS.....	61
10.	TOPOGRAFÍA EN EMBALSES.....	63
10.1.	Zona de inundación	63
10.2.	Red de monolitos de triangulación.....	63
10.3.	Poligonal y nivelación geométrica.....	64
10.4.	Coordenadas de sondeos.....	64
10.5.	Topografía de túneles o canales de desvío	64
10.6.	Replanteo cota de expropiación aguas arriba del muro.....	65
10.7.	Replanteo eje de muro	65
10.8.	Arrastre de cota a zona de riego.....	65

11.	FOTOGRAMETRÍA.....	67
11.1.	Escala de la fotografía.....	70
11.2.	Cobertura	71
	11.2.1. Traslape longitudinal	72
	11.2.2. Traslape lateral.....	73
11.3.	Tolerancia.....	74
11.4.	Residuales.....	75
12.	LÁSER AEROTRANSPORTADOS	77
12.1.	Planificación	78
12.2.	Sistema de navegación	78
12.3.	LiDAR aerotransportado.....	79
12.4.	Unidad de medida de datos inerciales (IMU).....	79
12.5.	Software	80
12.6.	Entrega de información	80
13.	REPLANTEO DE OBRAS	81
13.1.	Ejes de replanteo	81
13.2.	Puntos para replanteo	82
13.3.	Control horizontal	82
	13.3.1. Cuadrícula en el sitio	83
	13.3.2. Coordenadas desde puntos de control.....	84
	13.3.3. Control local	84
13.4.	Control vertical	85
13.5.	Tolerancia en replanteos.....	87
13.6.	Cubicaciones.....	87

CONCLUSIONES 89
RECOMENDACIONES 91
BIBLIOGRAFÍA..... 93

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Cinta métrica	5
2.	Distanciómetro de mano	6
3.	Distanciómetro topográfico.....	7
4.	Teodolito electrónico	7
5.	Partes fundamentales de una estación total	8
6.	Nivel de mano	9
7.	Nivel de anteojo	9
8.	Funcionamiento del sistema GPS	11
9.	GPS Topográfico.....	12
10.	Receptor GPS	14
11.	Red de triángulos independientes.....	31
12.	Red de cuadriláteros	31
13.	Red de figuras de punto central	32
14.	Poligonal abierta.....	38
15.	Poligonal cerrada	40
16.	Nivelación simple	45
17.	Nivelación compuesta	46
18.	Nivelación trigonométrica	48
19.	Nivelación taquimétrica	50
20.	Escandallo.....	57
21.	Ecosonda	58
22.	Diagrama de batimetría con ecosonda.....	59
23.	Batimetría con estación total	60

24.	Descripción del plano de referencia.....	71
25.	Recubrimiento longitudinal.....	73
26.	Recubrimiento lateral.....	74
27.	Cuadrícula en el sitio.....	83
28.	Puntos de control.....	84
29.	Riel de visual.....	85
30.	Riel de visual portátil (baliza viajera).....	86

TABLAS

I.	Parámetros GTM.....	3
II.	Porcentaje de recubrimiento.....	72

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
ϕ_{fc}	Azimut final calculado
ϕ_f	Azimut final medido
cm	Centímetros
Ea	Error angular
Ec	Error de cierre
Eu	Error unitario
°	Grados
Hz	Hertz
km	Kilómetros
km²	Kilómetros cuadrados
mm	Milímetros
”	Minutos
Ppm	Partes por millón
'	Segundos

GLOSARIO

Coordenadas	Valores numéricos que determinan la posición de cualquier punto en un sistema de referencia.
Cota de coronación	Cota más elevada de la estructura resistente de una presa.
Datum vertical	Parámetro o conjunto de parámetros que sirven para definir las alturas ortométricas.
Datum	Parámetro o conjunto de parámetros que sirven para definir la posición de origen, la escala y la orientación de un sistema de coordenadas con referencia a la tierra.
Ecosonda	Aparato electrónico utilizado generalmente en la navegación naval que permite medir la distancia entre la superficie del agua y el fondo marino.
Georreferenciación	Es el registro de la ubicación espacial de uno o varios puntos sobre la superficie terrestre, en un plano cartesiano con origen definido, cuya localización se realiza con respecto a un par de coordenadas principales (norte, este) o con respecto a medidas relativas a otros objetos identificables sobre la tierra.

GPS	Sistema de posicionamiento Global.
Hito	Es una señal permanente que permite indicar una dirección, una situación geográfica o una distancia determinada.
IGN	Instituto Geográfico Nacional.
Medio magnético	Un dispositivo en el que se almacena la información digital.
Precisión	Grado de perfección con que se realiza una operación o se establece un resultado.

RESUMEN

El presente trabajo tiene el propósito de proporcionar parámetros y especificaciones generales para efectuar levantamientos topográficos en Guatemala, los cuales son la base dentro de los estudios previos necesarios para la ejecución de cualquier proyecto.

En Guatemala es utilizado como sistema de referencia el WGS84 GTM o en su defecto el UTM, al cual se debe amarrar cada levantamiento. Es importante conocer el equipo e instrumental empleado en el desarrollo de cada medición, así como también las tolerancias aceptadas para cada tipo de levantamiento.

Dentro de la topografía se presentan dos ramas importantes, las cuales son la altimetría y planimetría; estas permiten obtener información de distancias horizontales y cotas verticales respectivamente.

La planimetría cuenta con distintos métodos para la localización de puntos en un plano horizontal, entre los cuales se pueden mencionar la poligonación, triangulación, trilateración, entre otros.

Existen también distintos métodos para la obtención de datos altimétricos, dentro de los cuales se encuentra la nivelación geométrica, nivelación trigonométrica y nivelación con GPS.

En casos especiales se necesita tratar de forma específica el levantamiento de acuerdo con las necesidades del proyecto, por ejemplo en proyectos hidráulicos (drenajes, conducción y distribución de agua potable) y la batimetría en ríos y embalses.

Existen métodos que permiten obtener información topográfica de grandes extensiones de terreno en un corto tiempo, los cuales presentan un grado de precisión bastante alto. Dentro de estos se encuentran la fotogrametría y la obtenida por medio de escaneo láser aerotransportado (*LiDAR*).

En el inicio de la construcción de toda obra es necesario realizar un replanteo, el cual consistirá en plasmar en el campo todos los puntos importantes representados en el plano de acuerdo con el diseño realizado en gabinete.

Para cada aspecto mencionado, se presenta en este texto una serie de recomendaciones para desarrollar un estudio topográfico destinado a una obra de ingeniería civil.

OBJETIVOS

General

Aportar recomendaciones técnicas para la realización de estudios topográficos para obras de ingeniería civil en Guatemala.

Específicos

1. Presentar de forma ordenada y concisa especificaciones técnicas que son utilizadas en Guatemala.
2. Lograr una estandarización de los procedimientos realizados en trabajos topográficos.
3. Definir una forma correcta para la realización de estudios topográficos en Guatemala.

INTRODUCCIÓN

La topografía es una de las partes más importantes para la realización de proyectos de ingeniería civil. Sin el levantamiento topográfico adecuado y con la precisión necesaria, no puede diseñarse y a su vez ejecutarse el proyecto deseado.

Debido a la ausencia de procedimientos establecidos por entidades públicas del Estado (Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda a través de la Dirección General de Caminos y/o COVIAL) y que muchas empresas tanto nacionales como internacionales se ven afectadas por la falta de dichas normativas, hace que cada proyecto tenga las mismas dificultades y atrasos en las fases de diseño.

Ya que no se cuenta con las recomendaciones para realizar levantamientos topográficos adecuados con el equipo topográfico actual se hace necesario crear un documento que contemple recomendaciones de especificaciones técnicas para estudios topográficos en Guatemala, tomando como referencia las normativas y experiencias empleadas en otros países, como España, Chile, Perú, México, Colombia y Argentina, entre otros, adecuadas a los trabajos topográficos que se realizan en Guatemala.

1. UNIDADES E INSTRUMENTAL

En Guatemala existe un problema al momento de utilizar los sistemas de medición, esto debido a que en ocasiones se emplea el sistema métrico y en otras el sistema inglés. Por este motivo es importante empezar a uniformizar estos parámetros, aplicados al área de ingeniería. A continuación se describe el sistema de unidades y el sistema de referencia para definir los parámetros iniciales en la medición y las tolerancias aceptadas, así como también los distintos instrumentos utilizados al momento de realizar un levantamiento topográfico.

1.1. Sistema de unidades

Contar con un sistema de unidades definido es importante al momento de realizar cualquier medición. Utilizar un solo sistema facilita la manipulación de los datos obtenidos en el campo y de igual forma se evitan los posibles errores al realizar una conversión de un sistema a otro.

En todos los trabajos topográficos a realizarse se debe utilizar el sistema métrico de unidades. Las distintas magnitudes serán expresadas de la siguiente forma:

- Las unidades de longitud se presentarán como milímetro (mm), centímetro (cm), metro (m) y kilómetro (km).
- Las unidades de superficie serán presentadas en metros cuadrados (m^2), hectáreas ($1\ 000\ m^2$) y kilómetros cuadrados (km^2).

- Las unidades angulares se definirán de la siguiente manera:
Grados ($^{\circ}$), minutos ($'$) y segundos ($''$) utilizando el sistema angular sexagesimal.

1.2. Sistema de referencia

Se define a una coordenada como la ubicación tridimensional de un punto en el espacio. De igual manera la coordenada altimétrica se denotará por cota, la cual está referida al datum altimétrico definido por el nivel medio del mar.

La proyección Universal Transversa de Mercator (UTM) venía siendo utilizada en Guatemala como la proyección estándar en mapas y sistemas de levantamientos terrestres georreferenciados. Esta proyección presenta un problema, divide a Guatemala en dos zonas UTM (zona 15 y zona 16) lo cual lleva a presentar traslapes y falta de continuidad entre las dos zonas.

Debido al crecimiento en la utilización de los sistemas de información geográfica, se volvió una necesidad desarrollar una proyección continua para Guatemala. Dicha proyección permite representar uniformemente todo el territorio nacional. La llamada Guatemala Transversa de Mercator (GTM) es una adaptación de la proyección UTM, en la que se modificó únicamente el origen de las coordenadas X (meridiano central) y el factor de escala en el mismo meridiano, mejorando de esta manera la precisión en todo tipo de levantamientos topográficos.

Tabla I. **Parámetros GTM**

Nombre del Elemento	Entrada	Comentario
Código de la clase del sistema de referencia de coordenadas	1	El número 1 se refiere a un sistema de referencia de coordenadas con todos los datos de definición dados al completo
Identificador del sistema de referencia de coordenadas	GTM	
Identificador del datum	WGS84	
Punto de anclaje del datum	Centro de la tierra	
Notas sobre el datum		
Identificador del elipsoide	WGS84	
Semieje mayor del elipsoide	6 378 137,0 m	
Forma del elipsoide	Verdadera	
Achatamiento	1 / 298,257223563	
Identificador del sistema de coordenadas	Mercator Transverso	
Tipo del sistema de coordenadas	Proyectadas	
Dimensión del sistema de coordenadas	2	
Nombre del eje del sistema de coordenadas	N	Estos parámetros se refieren al valor y de las coordenadas proyectadas
Dirección del eje del sistema de coordenadas	Norte	
Identificador de unidades del eje del sistema de coordenadas	M	
Nombre del eje del sistema de coordenadas	E	Estos parámetros se refieren al valor x de las coordenadas proyectadas
Dirección del eje del sistema de coordenadas	Este	
Identificador de unidades del eje del sistema de coordenadas	m	
Identificador de la operación de coordenadas	Mercator Transversa	

Continuación de la tabla I.

Número de parámetros del método de operación de coordenadas	5	Estos parámetros son los valores que se deben usar para definir la proyección GTM en los distintos programas de cálculo usados para la transformación
1 Nombre del parámetro de operación de coordenadas	Latitud de origen	
Valor del parámetro de operación de coordenadas	0 grados	
2 Nombre del parámetro de operación de coordenadas	Longitud de origen	
Valor del parámetro de operación de coordenadas	-90,5 grados	
3 Nombre del parámetro de operación de coordenadas	Factor de escala en el meridiano central	
Valor del parámetro de operación de coordenadas	0,9998	
4 Nombre del parámetro de operación de coordenadas	Falso norte	
Valor del parámetro de operación de coordenadas	0 metros	
5 Nombre del parámetro de operación de coordenadas	Falso este	
Valor del parámetro de operación de coordenadas	500 000 metros	

Fuente: COGUANOR NTG 211001.

1.2.1. Sistema de referencia local con GPS

El Sistema de Posicionamiento Global ha sido empleado en navegación, sin embargo, también se utiliza para levantamientos topográficos. Se recomienda generar sistemas locales para realizar la topografía clásica. Estos sistemas pueden ser creados por reducción a distancia horizontal, aplicación inversa de correcciones UTM y factor de escala de los vectores utilizados en la poligonal de apoyo.

1.3. Planificación

Es importante realizar una planificación, previo a iniciar cualquier tipo de trabajo topográfico. Esta mostrará la forma en que el trabajo será ejecutado, se debe incluir una programación que permita una adecuada organización entre el trabajo de campo y gabinete. Unos puntos importantes a tener en cuenta en la planificación son los siguientes:

- Nómina del personal técnico que ejecutará el trabajo
- Metodología adoptada para la ejecución del trabajo
- Cantidad, especificaciones y características de los equipos y software a utilizar para desarrollar los trabajos topográficos.

1.4. Equipos topográficos y software

Se debe utilizar cierto tipo de equipo e instrumentos al realizar los trabajos topográficos, dentro de los cuales están:

- Cintas métricas: estas deben estar graduadas al milímetro y ser de un material resistente. Se recomiendan las cintas metálicas, que evitan deformaciones al momento de su tensión.

Figura 1. **Cinta métrica**



Fuente: <http://ferrovicmar.com/infer.asp?ac=22&trabajo=listar&pa=cintas&sg=cintas>.

Consulta: 7 de julio de 2014.

- Distanciómetros de mano o disto láser: es un instrumento electrónico utilizado en medición directa de distancias. De preferencia su uso debe ser para medición de distancias al interior de construcciones. Precisión mínima 2,0 mm.

Figura 2. **Distanciómetro de mano**



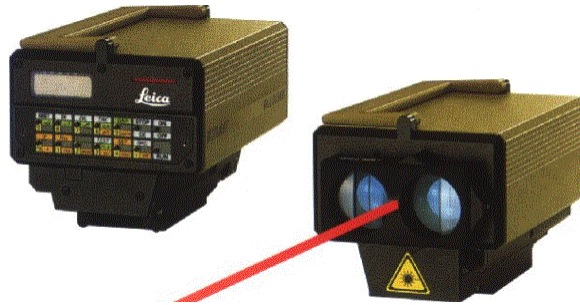
Fuente: <http://www.agroterra.com/p/distanciometro-de-mano-3071505/3071505>.

Consulta: 7 de julio de 2014.

- Distanciómetro topográfico: conocido como medidor de distancia electrónica (EDM), se basa en la medición de ondas transmitidas hasta un punto, en el cual se refleja la onda, las ondas regresan al punto de partida; midiendo el tiempo en el que estas hacen su recorrido, basado en fórmulas de distancia, velocidad y tiempo transcurrido.

Precisión mínima $\pm (5 \text{ mm} + 5 \text{ ppm})$.

Figura 3. **Distanciómetro topográfico**



Fuente: <http://www2.uefs.br/geotec/topografia/apostilas/topografia%286%29.htm>.

Consulta: 7 de julio de 2014.

- Teodolito: es un instrumento de precisión utilizado en mediciones angulares. Mide ángulos horizontales en torno a un eje azimutal y ángulos verticales en torno a un eje de alturas. Estos instrumentos pueden ser mecánicos o electrónicos. Se utilizan para levantamientos y replanteos de tipo planimétrico y altimétrico.

Figura 4. **Teodolito electrónico**



Fuente: *Manual principios de topografía*. p. 4.

- Estación total: es un instrumento electrónico que posee la capacidad de ejecutar mediciones angulares horizontales y verticales unidas con la medición de distancias, con la opción de, en algunos casos, almacenar información. Precisión angular mínima: 10 segundos centesimales
Precisión lineal mínima: $\pm (5\text{mm} + 5\text{ppm})$.

Dentro de la gama de estaciones totales, se incluyen todos aquellos equipos conocidos como semi estaciones, los cuales no cuentan con la capacidad de almacenar ningún tipo de información del levantamiento, pero es posible incorporarles una libreta electrónica o bien, al igual que un teodolito, los datos deben ser anotados manualmente. Estos instrumentos deberán cumplir con los mismos requerimientos de precisión que una estación total.

Figura 5. Partes fundamentales de una estación total



Fuente: FRANCO REY, Jorge. *Nociones de topografía*. p. 51.

- Nivel topográfico: el nivel es utilizado en la determinación de desniveles existentes sobre la superficie terrestre. Son utilizados para traslado de cotas o determinación de desniveles. Estos instrumentos pueden ser manuales o automáticos. Precisión mínima requerida $\pm 1,5$ mm.

Figura 6. **Nivel de mano**



Fuente: *Manual principios de topografía*. p. 8.

Figura 7. **Nivel de anteojo**



Fuente: *Manual principios de topografía*. p. 7.

- GPS (Sistema de Posicionamiento Global):
Equipos GPS en tiempo real, receptores doble frecuencia.
Equipos GPS posproceso, receptores diferenciales con capacidad de recibir.
Código y fase, de simple y doble frecuencia

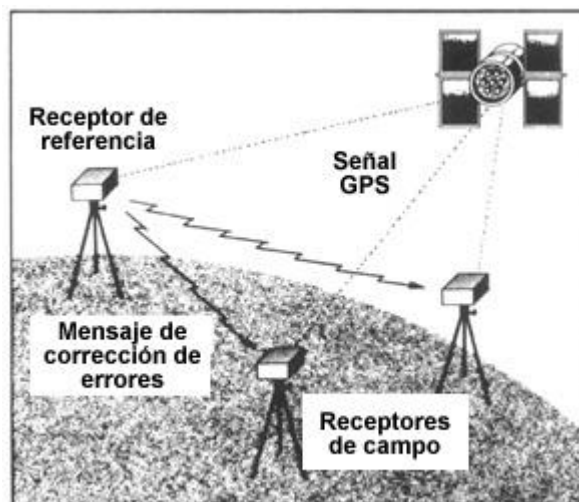
- Programas y aplicaciones topográficas computacionales: existen diversos programas empleados para distintos fines y tareas dentro de la realización de los estudios topográficos, tales como programas de GPS, de dibujo, topográficos, de restitución y planillas electrónicas. Se recomienda especificar dichos programas, de la siguiente manera:
 - Nombre del programa
 - Versión del programa
 - Capacidad de procesamiento
 - Participación del software en el estudio

2. SISTEMA DE POSICIONAMIENTO POR SATÉLITES GPS

2.1. Generalidades

El sistema GPS permite determinar coordenadas de puntos sobre la superficie terrestre, marítima, lacustre o fluvial. Estas coordenadas tendrán distintas precisiones de acuerdo con el tipo de receptor y el método de medición que se utilice. Las coordenadas pueden ser expresadas en distintos sistemas y formatos.

Figura 8. **Funcionamiento del sistema GPS**



Fuente: <http://www.webpicking.com/hojas/gps.htm>. Consulta: 7 de julio de 2014.

Al momento de realizar traslados de coordenadas y georreferenciación de precisión se emplea el método diferencial posproceso, el cual consiste en la medición simultánea con dos o más equipos en un período de tiempo común. Para el método mencionado el receptor GPS base debe instalarse en un punto de coordenadas conocidas, simultáneamente el receptor móvil se deberá instalar en puntos de coordenadas desconocidas por un período de tiempo. Este período de tiempo estará definido de acuerdo con el objetivo y la precisión de la medición.

Otro método de medición es el llamado tiempo real (RTK, *Real Time Kinematic*), este permite realizar las correcciones diferenciales en el mismo instante en el cual los receptores se encuentran en terreno, por lo que es posible obtener las tres coordenadas inmediatamente. Este tipo de medición presenta coordenadas y cotas que pueden no ser confiables en sectores con una baja disponibilidad satelital.

Figura 9. **GPS Topográfico**



Fuente: <http://www.alfatopografia.com/gps.htm>. Consulta: 7 de julio de 2014.

2.2. Receptores y software GPS

Dentro de los elementos importantes en la utilización del sistema GPS se encuentran los receptores que se encargan de recibir y decodificar las señales provenientes de los satélites, y el *software* que se encarga de procesar la información obtenida durante el levantamiento.

2.2.1. Receptores

Es importante saber que cada tipo de receptores GPS está diseñado para satisfacer requerimientos técnicos específicos. Por este motivo es importante conocer la relación entre el tipo de receptor, la forma de medición y el tipo de trabajo que se podrá ejecutar. A continuación se enlistarán los tipos de trabajo a realizar de acuerdo con dichos parámetros:

- Receptor de doble frecuencia posproceso
 - Densificación de redes
 - Traslado de coordenadas poligonales
 - Determinación de coordenadas de puntos de referencia
 - Apoyo terrestre de restituciones fotogramétricas
 - Monitoreo de obras civiles
 - Levantamientos topográficos
 - Batimetrías
 - Actualización cartográfica

- Receptor de doble frecuencia tiempo real
 - Levantamientos topográficos
 - Batimetrías
 - Replanteo planimétrico de proyectos en sectores sin obstrucciones

- Receptor de simple frecuencia posproceso
 - Medición de puntos estereoscópicos de restituciones fotogramétricas
 - Actualización cartográfica

Figura 10. **Receptor GPS**



Fuente: *Manual principios de topografía*. p. 10.

2.2.2. Software

Los *software* GPS permiten procesar la información almacenada por los receptores en método diferencial. La validez de los cálculos realizados por dichos programas, generalmente, se relacionan con valores estadísticos. Cada software calcula las coordenadas y sus respectivas estimaciones de precisión.

A continuación se presenta un listado de *software* recomendados para la ejecución de trabajos en posproceso:

- Ashtech solutions
- Pinnacle
- Skipro
- Trimble Geomatics Office

2.3. Métodos de medición

Existen distintos métodos de medición utilizando el sistema GPS, lo cual hace necesario conocer cada uno de estos, ya que dependiendo de los requerimientos específicos del proyecto podrá decidirse cuál emplear. A continuación se describen los métodos de medición de acuerdo con el tipo de trabajo a ejecutar:

- Método estático: involucra a dos o más receptores que reúnen datos en diferentes puntos durante una cantidad suficiente de tiempo común para resolver el vector entre ellos a nivel centímetro o milímetro. Utilizado en traslado de coordenadas, densificación de redes, estaciones de poligonales, determinación de coordenadas de puntos de referencia, apoyo terrestre de restituciones, monitoreo de obras civiles, entre otros.
- Método estático rápido: este método se deriva de la técnica estática, pero cuenta con un periodo más corto de medición (10 a 60 minutos) y está mayormente orientado a equipos de doble frecuencia que resuelven con una mayor rapidez la ambigüedad de fase. Se emplea en la determinación de coordenadas de puntos de referencia, apoyo terrestre de restituciones, puntos característicos de obras existentes, entre otros.

- Método dinámico: este método requiere el uso de datos en movimiento o en trayectoria. Después de iniciar para lograr la exactitud al centímetro, es necesario mantener el contacto con una cantidad suficiente de satélites. Los datos de la trayectoria permiten mantener esta exactitud mientras se moviliza de punto a punto. Utilizado en levantamientos topográficos, levantamientos planimétricos, batimetrías, actualización cartográfica, entre otros.

2.4. Exigencias y tolerancias

En el medio existen diversos software, así como distintos indicadores utilizados por cada fabricante, por este motivo se establecen las siguientes exigencias generales de acuerdo con las especificaciones y estándares básicos de la división de geodesia del Instituto Geográfico Nacional, IGN:

- Fijación de ambigüedades:
 - La solución recomendada es aquella denominada fija (*fixed*).
 - La solución flotante (*floating*) no es recomendada.

La tolerancia requerida para la fijación de ambigüedades en el cálculo de un vector es: H: 0,01 m + 5 ppm; V: 0,02 m + 10 ppm o su equivalente de acuerdo con cada software específico.

- RMS: error medio cuadrático, menor a 0,04 m para todo fabricante. Este indicador estará directamente ligado a una medición de solución fija.
- PDOP: dilución de precisión. Es un factor que indica la calidad de la geometría de los satélites, su valor debe ser menor a 5 para todo fabricante.

- Número de satélites: la cantidad recomendada de satélites durante toda la medición es 6, esta cantidad puede disminuir hasta un mínimo de 5. Se puede aminorar este posible problema recurriendo a una planificación de la sesión. Si la cantidad de satélites no fuese la apropiada, la medición con GPS no es recomendable.
- Ángulo de máscara: el ángulo mínimo para recibir la información proveniente de los satélites es de 10° sexagesimales.
- Intervalo grabación: los intervalos de grabación para mediciones diferenciales podrán variar desde 1 segundo hasta un máximo de 15, cada intervalo está determinado por el tipo de trabajo, duración de la medición y capacidad de almacenamiento del receptor, los intervalos de tiempo recomendados son:
 - 10 segundos en mediciones estáticas o estático rápido.
 - Menos de 5 segundos para mediciones cinemáticas de levantamientos o batimetrías.
- Mínimo período de grabación: es el tiempo común de grabación entre la base y el móvil. Este tiempo dependerá del tipo de trabajo y la precisión requerida. La duración normal de una sesión de medición es de 1 hora. Dependiendo los objetivos del trabajo, podrán emplearse tiempos distintos a 1 hora.

2.4.1. Poligonal y red GPS

Definiremos una poligonal GPS como a la medición de una serie de vectores, donde el último cierra sobre un vértice conocido de una red de mayor orden o sobre el mismo punto de inicio.

La tolerancia de cierre para una poligonal GPS sobre el mismo vértice de inicio será de 1:200 000 la longitud de la poligonal de acuerdo con especificaciones de la división de geodesia del IGN.

La tolerancia se define para la componente horizontal y se calcula mediante la raíz cuadrada de la suma de las diferencias de coordenadas y cotas al cuadrado.

$$T = \sqrt{X_1 - X_2^2 + (Y_1 - Y_2)^2 - (Z_1 - Z_2)^2}$$

Donde:

T = tolerancia

X_1 = coordenada en x salida X_2 = coordenada en x cierre

Y_1 = coordenada en y salida Y_2 = coordenada en y cierre

Z_1 = coordenada en z salida Z_2 = coordenada en z cierre

Una red GPS se realiza mediante la medición desde varios puntos, parecido en una forma al cuadrilátero de topografía tradicional, en el que un vértice contempla varios puntos de visión. Se intenta encontrar una redundancia en la información de los vectores, que luego será procesada y se realizará un ajuste por algún método estadístico.

Este proceso de ajuste cobra sentido cuando se cuenta con una serie de vértices generados por diversos vectores, es decir una red GPS. El ajuste es realizado generalmente por mínimos cuadrados y analizado estadísticamente por método chi-cuadrado o Tau.

2.5. Procedimientos de terreno

Para las mediciones GPS, uno de los elementos de mayor importancia es la ubicación y el entorno de los puntos en donde se realizarán las observaciones. Para asegurar una correcta medición se deben tomar en cuenta las siguientes recomendaciones para los puntos utilizados como base:

Teniendo en cuenta una máscara de elevación de 10° , de acuerdo con especificaciones del IGN, la distancia en la cual no deben existir obstrucciones es de 113 m, esta restricción debe ser considerada especialmente en zonas boscosas y de alta vegetación.

Objetos tales como vallas metálicas, postes o algunas construcciones deben ser evitadas debido a que estos pueden provocar un error de multitrayectoria.

Se debe evitar instalar una base en donde exista una disponibilidad baja de la ventana satelital, esto puede producirse debido a pendientes pronunciadas. Debe tomarse en cuenta siempre que la base debe tener menos obstrucciones que el receptor móvil.

2.6. Procesamiento de archivos

Se debe ajustar el procesamiento de los archivos GPS a los siguientes pasos:

- Revisión de las alturas de antena de los archivos contra la libreta de terreno
- Procesamiento fijando coordenadas
- Procesamiento fijando vértices nivelados geoméricamente
- Cierre y ajuste de vectores y poligonal
- Análisis de tolerancias; remediación en caso de inconformidad
- Generación de informe de coordenadas

2.7. Registros y archivos GPS

Al momento de registrar toda la información generada por los equipos receptores y por la libreta de terreno (efemérides, observables, características del punto o administración de archivos de terreno) es recomendable adjuntar esta en medio magnético. Debe tenerse especial cuidado respecto al nombre de los puntos utilizados como vértices. El archivo GPS debe contener el mismo nombre (o abreviación) que el nombre del punto señalado en terreno y en el informe.

2.8. Transformación a coordenadas planas topográficas

Para realizar la transformación de coordenadas geográficas de latitud y longitud a coordenadas planas este y norte, se utilizarán las siguientes fórmulas:

$$a) \quad x = k_0 N \left[A + \frac{1-T+C}{6} A^3 + 5 - 18T + T^2 + 72C - 58e'^2 \right] A^5 / 120$$

$$b) \quad y = k_0 \left[M - M_0 + N \tan \phi \left(\frac{A^2}{2} + \frac{5-T+9C+4C^2}{24} A^4 + \frac{61-58T+T^2+600C-330e'^2}{720} A^6 \right) \right]$$

$$c) \quad k = k_0 \left[1 + \frac{1+C}{2} A^2 + \frac{5-4T+42C+13C^2-28e'^2}{24} A^4 + 61 - 148T + 16T^2 \right] A^6 / 720$$

Donde k_0 es el parámetro de operación de coordenadas en el meridiano central (0,9998 para la proyección GTM).

$$d) \quad e'^2 = e^2 / (1 - e^2)$$

$$e) \quad N = a / (1 - e^2 \sin^2 \phi)^{1/2}$$

$$f) \quad T = \tan^2 \phi$$

$$g) \quad C = e'^2 \cos^2 \phi$$

$$h) \quad A = \lambda - \lambda_0 \cos \phi$$

$$i) \quad M = a \left[1 - \frac{e^2}{4} - \frac{3e^4}{64} - \frac{5e^6}{256} - \dots \right] \phi - \frac{3e^2}{8} \phi + \frac{3e^4}{32} \phi + \frac{45e^6}{1024} \phi + \dots \sin 2\phi + \frac{15e^4}{256} \sin 2\phi + 45 \frac{e^4}{1024} \sin 2\phi + \dots \frac{\sin 4\phi - 35e^8 \sin 4\phi + \dots}{3072} \sin 6\phi + \dots$$

Donde,

λ_0, ϕ, λ en radianes

M es la distancia verdadera del meridiano central desde el Ecuador hacia ϕ .

$M_0 = M$ calculada para ϕ_0 , la latitud cruzando el meridiano central λ_0 al origen de las coordenadas x, y.

Nota: si $\phi \pm \pi/2$, todas las ecuaciones deberían de ser omitidas excepto (i), donde M y M_0 son calculados. En este caso, $x = 0$, $y = K_0 (M-M_0)$, $k = k_0$

La ecuación (c) puede ser escrita como función de X y ϕ :

$$j) \quad k = k_0 \left(1 + \frac{1 + e'^2 \cos^2 \phi}{2k_0^2 N^2} x^2 \right)$$

Para obtener las coordenadas planas en la proyección, el “falso Este” es agregado a X y el “falso Norte” es agregado a Y después de calcularlos con (a) y (b).

En donde:

X y Y son las coordenadas planas transformadas en metros

K es el factor de escala en el punto de transformación

Φ es la altitud en radianes

M es la distancia verdadera a lo largo del meridiano central, desde el ecuador hasta ϕ ;

e^2 es la excentricidad al cuadrado del elipsoide de referencia.

Para el proceso inverso, de transformación de coordenadas planas Este y Norte a coordenadas geográficas de latitud y longitud, se usarán las fórmulas siguientes:

$$k) \quad \phi = \phi_1 - \frac{N_1 \tan \phi_1}{R_1} \frac{D^2}{2} - \frac{5+3T_1+10C_1-4C_1^2-9e'^2}{24} \frac{D^4}{24} + \frac{61+90T_1+289C_1+45T_1^2-252e'^2-3C_1^2}{720} \frac{D^6}{720}$$

$$l) \quad \lambda = \lambda_0 + D - \frac{1+2T_1+C_1}{6} \frac{D^3}{6} + \frac{5-2C_1+28T_1-3C_1^2+8e'^2+24T_1^2}{120} \frac{D^5}{120} / \cos \phi_1$$

Donde ϕ_1 es la latitud al meridiano central que tiene la misma coordenada y que es el punto (ϕ, λ) . Puede ser encontrado a partir de la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \text{m) } \phi_1 = \mu + \frac{3e_1}{2} - \frac{27e_1^3}{32} + \dots \sin 2\mu + \frac{21e_1^2}{16} - \frac{55e_1^4}{32} + \dots \sin 4\mu + \\ \frac{151e_1^3}{96} + \dots \sin 6\mu + \frac{1097e_1^4}{512} - \dots \sin 8\mu + \dots \end{aligned}$$

Donde:

$$\text{n) } e_1 = 1 - \sqrt{1 - e^2} / \left(1 + \sqrt{1 - e^2} \right)$$

$$\text{o) } \mu = M / a \left(1 - \frac{e^2}{4} - \frac{3e^4}{64} - \frac{5e^6}{256} - \dots \right)$$

$$\text{p) } M = M_0 + \frac{y}{k_0}$$

Con M_0 estimado a partir de la ecuación (i) para un ϕ_0 dado

Donde:

K es el factor de escala en el punto de transformación

Φ es la latitud en radianes

M es la distancia verdadera a lo largo del meridiano central, desde el ecuador hasta ϕ ;

e^2 es la excentricidad al cuadrado del elipsoide de referencia.

3. LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS

3.1. Generalidades

Un levantamiento topográfico es un grupo de trabajos que se ejecutan para obtener una representación gráfica de una superficie contemplando el relieve o elevaciones del terreno y de todos los elementos existentes. Los levantamientos topográficos se dividen en dos áreas que son:

- Planimetría, que se encarga de las proyecciones del terreno en un plano horizontal imaginario midiendo distancias horizontales y áreas de un terreno.
- Altimetría, la cual toma en cuenta las diferencias de elevación de un terreno respecto a un plano horizontal de referencia.

3.2. Levantamiento de áreas

Se debe entonces entender al levantamiento de un área como el procedimiento destinado a obtener las características topográficas y detalles existentes de una determinada superficie. Este levantamiento corresponde a la obtención del relieve de una zona y los detalles como vegetación, urbanización, obras civiles, líneas características, entre otros. La información generada es representada en una proyección a escala en un plano horizontal.

Si un terreno supera los 111 450 km² deberán utilizarse métodos geodésicos para su medición, de acuerdo con la ley reglamentaria para trabajos de agrimensura, Decreto Gubernativo No. 1786.

Para terrenos de una menor extensión es recomendable utilizar el método de triangulación, siempre y cuando las condiciones del lugar lo permitan.

3.3. Levantamiento de perfiles topográficos

Este tipo de levantamiento permite presentar en corte una obra existente, una obra proyectada o el perfil del terreno natural. Esta proyección puede ser de forma longitudinal (perfil longitudinal) o en forma transversal (perfil transversal).

Es importante realizar el levantamiento de un perfil correctamente, ya que con la información obtenida de este es posible realizar un diseño con precisión. Por otra parte permite obtener una representación fiel del terreno, lo que posibilita el cálculo de volúmenes de movimiento de suelos. A continuación se presentan una serie de recomendaciones para el levantamiento de perfiles:

- Al realizar el levantamiento de un perfil longitudinal, deberá amarrarse a la poligonal principal del estudio. La distancia entre puntos de perfil será cada 20 metros agregando un punto de perfil en cada cambio de pendiente.
- Si se realiza el levantamiento con estación total, este deberá cerrar sobre los puntos de referencia existentes, comprobando la cota, con un error aceptado de 0,05 m, por tratarse de una nivelación trigonométrica.

- En el caso de que se hiciera uso de GPS, este deberá ser utilizado empleando el sistema WGS-84 GTM y amarrado al sistema del Instituto Geográfico Nacional IGN.
- Para la proyección del perfil transversal para una carretera, la forma más recomendable de obtener la información es mediante el uso de la estación total, ya que permitirá tener automáticamente las coordenadas, lo que evitará tener errores en la lectura, anotación y cálculo. El perfil transversal debe considerarse a partir del perfil longitudinal, cada 20 m y en cada cambio de pendiente.
- Debe determinarse un ancho mínimo para la proyección del perfil transversal, tomando en cuenta que debe tener un ancho suficiente como para poder realizar, durante el transcurso del estudio, cambios en el trazado que deberán plasmarse en la topografía levantada y de igual forma también permita realizar las modificaciones que requiera cada obra que será proyectada.
- Los perfiles transversales normalmente son trazados perpendiculares al eje del perfil longitudinal. Son recomendables también los levantamientos tipo nube o lluvia de puntos, para obtener mejores representaciones del terreno natural.

4. TRIANGULACIONES Y TRILATERACIONES

4.1. Generalidades

Una de las mejores formas de realizar, revisar y hacer correcciones a un levantamiento topográfico es a través de una triangulación por medio de diversas figuras geométricas.

La forma clásica de realizar este tipo de medición consiste en obtener la medida de un lado y se completa el cálculo tomando solo medidas angulares. Esta forma de realizar este sistema era justificado ya que el determinar una medida angular precisa era relativamente más sencillo que determinar medidas precisas de distancias.

En la actualidad existen instrumentos electrónicos de medición, por lo que es posible contar con un método rápido y eficaz para medir directamente y con precisión longitudes grandes, sin embargo, no se debe abusar de esto. Por este motivo es posible determinar sencillamente una triangulación basándose únicamente en medidas de distancia. Este método es denominado “trilateración”.

4.2. Triangulación

La triangulación es un método que presenta una gran utilidad, ya que ésta permite conocer la precisión del levantamiento topográfico. En la triangulación se hace uso de figuras triangulares en las que se necesita medir todos los ángulos de cada triángulo y uno de sus lados.

La triangulación se basa en principios trigonométricos muy simples. Si se mide con exactitud la longitud de un lado de un triángulo y sus ángulos en cada extremo del lado medido, pueden calcularse los otros dos lados y el ángulo faltante.

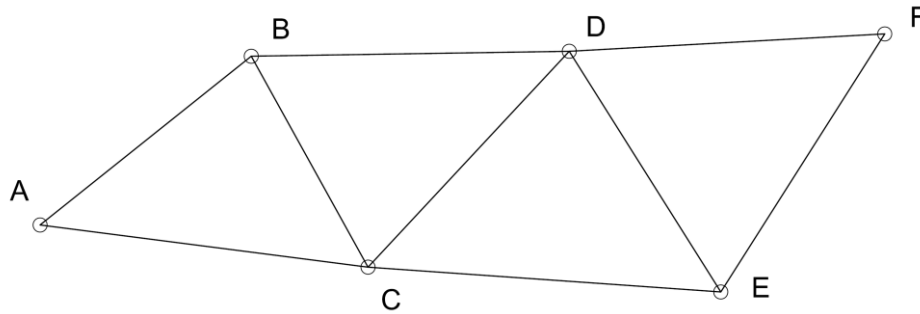
En la práctica es importante medir todos los ángulos de cada triángulo para poder contar con información exacta que será utilizada en los cálculos de la precisión de las mediciones.

Los triángulos utilizados en este método se clasifican en dos tipos, de primer orden y segundo orden. Son considerados triángulos de primer orden aquellos en los cuales la longitud de sus lados pasa de diez kilómetros; los que cuentan con lados menores a esta longitud se consideran de segundo orden.

Este método emplea una serie de triángulos consecutivos que están unidos entre sí y son utilizados para llevar a cabo la medición. Esta se conoce como red de triángulos. Estas redes de acuerdo con su forma se clasifican en:

- Triángulos independientes: esta es la forma más rápida de cubrir una franja estrecha de terreno como, por ejemplo, la cuenca de un río. Se presenta el inconveniente de no ser la forma más exacta, ya que es necesario intercalar bases cercanas, de lo contrario se acumularán errores de forma excesiva. No se deben permitir ángulos menores de 20° .

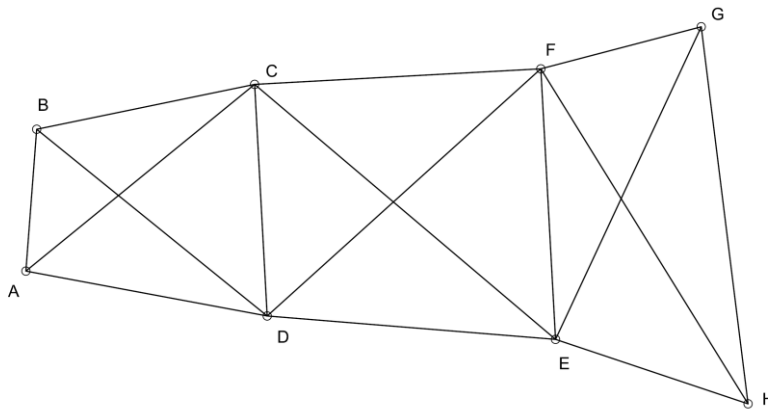
Figura 11. **Red de triángulos independientes**



Fuente: elaboración propia, con base al programa AutoCAD 2012.

- Cuadriláteros: este tipo de red presenta una gran ventaja, ya que las longitudes que son calculadas de los lados pueden obtenerse a través de las distintas combinaciones de ángulos y lados, de esta forma se aumenta la exactitud de la información obtenida y se cuenta con comprobaciones frecuentes de los cálculos.

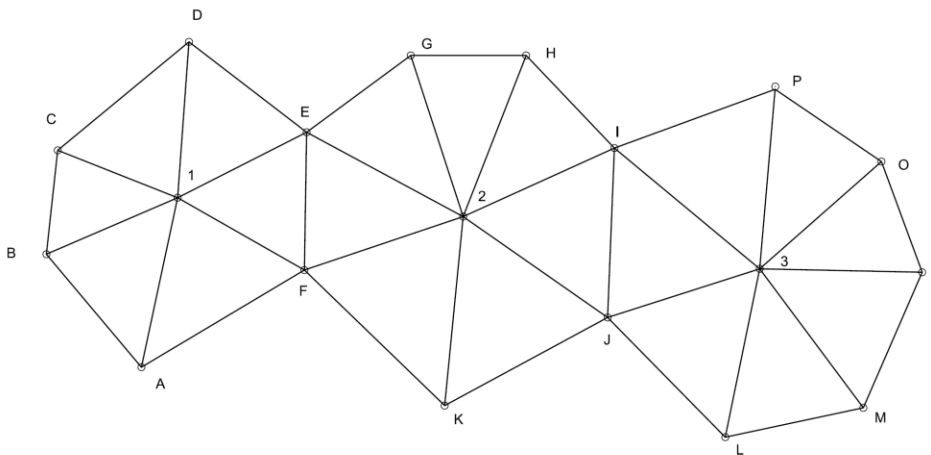
Figura 12. **Red de cuadriláteros**



Fuente: elaboración propia, con base al programa AutoCAD 2012.

- Figuras de punto central: en el caso que se desee cubrir una zona extensa que cuente con una distribución relativamente densa de puntos, como sería para una triangulación en un área metropolitana, se hace uso de este tipo de red.

Figura 13. Red de figuras de punto central



Fuente: elaboración propia, con base al programa AutoCAD 2012.

El cálculo de los lados de un triángulo en cualquier red de triangulación está basado en el teorema de senos, determinando el lado desconocido por medio de la siguiente expresión:

$$b = \frac{\text{sen}\beta}{\text{sen}\alpha} * a$$

Donde “a” es el lado medido y; “α” y “β” son los ángulos en los extremos del lado medido.

Esta ecuación puede ser muy sensible a errores angulares para ángulos menores de 30° y mayores de 150° , por lo que es recomendable mantener las medidas angulares de los triángulos de cada red dentro de estos valores.

Existen ciertas condiciones que deben cumplir las redes de triángulos, las cuales son:

La suma de todos los ángulos alrededor de cada vértice dentro de la red, debe ser 360° ; y la suma de los ángulos de cada triángulo debe ser 180° .

El error de cierre angular deberá ser menor a 1 minuto.

Deberá medirse un lado base final de referencia, el cual servirá para comprobar la precisión de la medición.

El error medio de las bases medidas deberá ser menor a 0,0010.

4.3. Trilateración

Este método trabaja con los mismos principios trigonométricos en los cuales se basa la triangulación, con la diferencia que en este caso se realiza la medición de distancias entre todos los lados. Estas distancias obtenidas en la medición deben reducirse al horizonte, por lo que se debe medir también los ángulos de inclinación correspondientes.

A continuación se presentan algunas recomendaciones para realizar este tipo de medición:

- Para poder asegurar un error mínimo de las figuras que formarán parte de la trilateración, se deben posicionar los vértices de modo que estos formen polígonos regulares.
- De preferencia los vértices deben ser ubicados en roca o suelos estables; si, de ser necesario, se tiene que ubicar uno de estos en laderas, se debe asegurar que estas no estén expuestas a posibles derrumbes. Pueden además fundirse bases con una varilla de acero corrugado al centro.
- La intervisibilidad entre los puntos de una figura deberá ser confirmada, y debe verificarse que, de ser posible, las visuales no sean paralelas al terreno. Se recomiendan distancias menores o iguales a 250 m.

4.3.1. Trilateraciones primarias

Se consideran trilateraciones primarias a aquellas que se toman como base y de las cuales se derivan otras trilateraciones.

A continuación se presentan una serie de recomendaciones tomadas de especificaciones técnicas de países como México, Chile y España; orientadas a las características y necesidades del país:

- Deben emplearse instrumentos electrónicos digitales tales como estaciones totales o distanciómetros. La precisión de estos instrumentos deberá ser de por lo menos $\pm (3 \text{ mm} + 1 \text{ ppm})$. La medición angular podrá realizarse con teodolitos con una precisión de 5 segundos. Es recomendable que antes de realizar la medición se revise la precisión de los instrumentos y hacer las colimaciones respectivas.

- La red que conforme una trilateración primaria debe ser formada por cuadriláteros, los cuales al momento del cálculo se descompondrán en triángulos con ángulos interiores entre 20 y 135 grados.
- Lo ideal es tener el cierre angular de cada triángulo menor o igual a 5 segundos.

4.3.2. Trilateraciones corrientes

Se denominan trilateraciones corrientes a aquellas que utilizan de apoyo a las trilateraciones primarias para poder trasladar una referencia topográfica a puntos cercanos al proyecto en ejecución.

Para la realización de una trilateración corriente se emplearán el mismo tipo de instrumentos que los anteriormente especificados para las trilateraciones primarias. Con la diferencia que en este caso la precisión de los instrumentos podrá ser como mínimo $\pm (5 \text{ mm} + 5 \text{ ppm})$.

Para compensar el error de cierre se hará uso del método de mínimos cuadrados o se hará proporcionalmente a las distancias y desniveles entre los vértices.

El desnivel definitivo se debe obtener por medio de correcciones por refracción y curvatura de la tierra, cuando sea necesario. En una trilateración corriente las distancias entre sus vértices podrán estar entre 2 000 y 5 000 m.

Las recomendaciones presentadas anteriormente son tomadas de trabajos realizados en Guatemala, con base en especificaciones técnicas de otros países.

5. POLIGONAL TOPOGRÁFICA

5.1. Generalidades

Es frecuentemente empleado el levantamiento de poligonales topográficas, en el cual se hacen recorridos en líneas rectas para ejecutar levantamientos planimétricos. Este método es utilizado para definir estaciones de apoyo o estaciones auxiliares para el levantamiento de un área, control en la ejecución de una obra y/o en replanteos de un proyecto.

Se puede definir una poligonal como una serie de líneas rectas que conectan distintos vértices, los cuales son establecidos en la ejecución de un levantamiento. En una poligonal se realiza un cambio de dirección en cada estación. Es recomendado especialmente en terrenos planos o boscosos.

Al hacer uso de una poligonal es necesario medir todos los ángulos y distancias, evitando omitir alguno.

Dentro de este método se pueden definir dos tipos de poligonales, denominadas poligonal abierta y poligonal cerrada. La primera de estas es realizada mediante una línea que cuenta con un principio y un final, asemejándose a un eje central, en la segunda se emplea un polígono cerrado en el que desde cada punto se tendrá visual libre de la estación anterior y la siguiente.

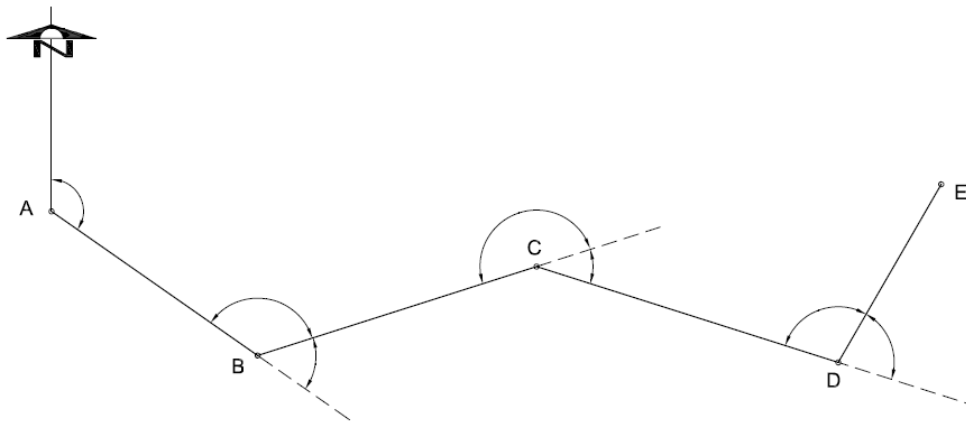
5.2. Tolerancias

Para todo tipo de mediciones es importante el mantener un rango aceptable de error dentro del cual trabajar, lo cual permitirá realizar algunas compensaciones para errores que no sean de consideración.

5.2.1. Poligonal abierta

Al momento de emplear una poligonal abierta es importante tomar en cuenta que la mejor forma de hacerlo es realizando un control de cierre, lo cual hace posible que se realice una comprobación al final de la medición. Este control de cierre consiste en determinar las coordenadas del punto inicial y final, y a su vez la orientación de la alineación tanto inicial como final, contando con esta información será posible realizar un control de cierre lineal y angular.

Figura 14. Poligonal abierta



Fuente: elaboración propia, con base al programa AutoCAD 2012

El error angular en una poligonal abierta está dado por la diferencia entre el azimut final calculado, tomado a partir del inicial medido y de los ángulos obtenidos en los vértices; y el azimut final medido.

$$Ea = \phi_{fc} - \phi_f$$

Donde:

Ea = error angular

ϕ_{fc} = azimut final calculado

ϕ_f = azimut final medido

5.2.2. Poligonal cerrada

Una poligonal cerrada es aquella que su punto de inicio coincide con el punto final. En este caso la comprobación de cierre angular estará dada por:

$$\text{Error permisible poligonal principal} = \bar{n} \times a$$

$$\text{Error permisible poligonal secundaria} = \bar{n} \times a + a$$

$$\Sigma \alpha_{\text{teórico}} = n - 2 \times 180$$

$$\Delta \alpha_{\text{real}} = \Sigma \alpha_{\text{real}} - \Sigma \alpha_{\text{teórico}}$$

Donde:

n = número de lados del polígono

a = aproximación del instrumento

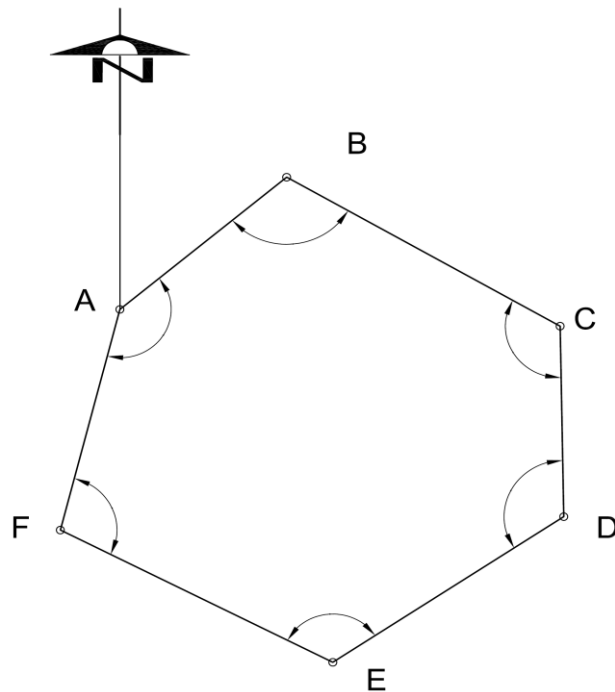
$\Sigma \alpha_{\text{teórico}}$ = sumatoria angular teórica

$\Sigma \alpha_{\text{real}}$ = sumatoria angular real

$\Delta \alpha$ = error angular de cierre

El error de cierre angular deberá ser menor que el error permisible, de lo contrario se tendrá que proceder a ejecutar nuevamente el levantamiento.

Figura 15. **Poligonal cerrada**



Fuente: elaboración propia, con base al programa AutoCAD 2012

Después de haber comprobado el cierre angular se realizará la comprobación del cierre lineal, este está dado por:

$$Ec = \sqrt{\Delta y^2 + \Delta x^2}$$

Donde:

Ec = error de cierre

Δy = sumatoria de proyección en y

Δx = sumatoria de proyección en x

$$Eu = \frac{Ec}{\Sigma Dist}$$

Donde:

Eu = error unitario

Ec = error de cierre

$\Sigma dist$ = sumatoria de distancias medidas

De acuerdo con la ley reglamentaria para trabajos de agrimensura, el error unitario debe ser menor que 0,003 en trabajos realizados con teodolito.

5.3. Compensación

La compensación corresponde a la distribución del error final tanto en la componente angular como lineal de cada tramo en la poligonal. El cálculo de la compensación podrá realizarse, si los errores iniciales son menores o iguales a la tolerancia establecida. De existir errores mayores a la tolerancia, deberá ejecutarse parcial o totalmente de nuevo la poligonal.

5.3.1. Compensación angular

La compensación angular se realizará de la siguiente forma:

$$Fc_{\sphericalangle} = \frac{\Delta_{\sphericalangle}}{\Sigma \Delta_{real}}$$

Donde:

Fc_{\sphericalangle} = factor de compensación angular

Δ_{\sphericalangle} = error angular

$\Sigma \Delta_{real}$ = sumatoria angular real

$$\alpha_c = \alpha_n \pm F_c \cdot \alpha_n$$

Donde:

α_c = ángulo corregido

α_n = ángulo en consideración

F_c = factor de compensación angular

5.3.2. Compensación de coordenadas

$$F_{c_x} = \frac{E_c}{\sum x_i}$$

$$F_{c_y} = \frac{E_c}{\sum y_i}$$

Donde:

F_{c_x} = factor de corrección en x

F_{c_y} = factor de corrección en y

E_c = error de cierre

$\sum x_i$ = sumatoria de coordenadas parciales en x

$\sum y_i$ = sumatoria de coordenadas parciales en y

$$y_{c_i} = y_i \pm F_{c_y} * y_i$$

$$x_{c_i} = x_i \pm F_{c_x} * x_i$$

Donde:

Y_{c_i} = coordenada compensada en y y_i = coordenada parcial en y

X_{c_i} = coordenada compensada en x x_i = coordenada parcial en x

6. NIVELACIONES

6.1. Generalidades

Se puede definir a una nivelación como el procedimiento de medición de la elevación de puntos sobre una superficie de referencia. La elevación es la distancia que existe entre el punto en consideración y el nivel de referencia, esta distancia se debe tomar siguiendo la dirección de la gravedad.

La información altimétrica de cada proyecto es considerada de gran importancia, ya que esta es necesaria para el diseño y planificación de cada obra.

Por medio de la nivelación podemos determinar la diferencia de alturas entre puntos medidos con un nivel equialtímetro. Existen distintos métodos utilizados en la nivelación, cada uno presenta alguna ventaja para los distintos tipos de obras. Uno de los más utilizados es el método de nivelación geométrica, el cual es un procedimiento empleado para determinar diferencias de alturas entre puntos medidos con un nivel equialtímetro.

6.2. Nivelación geométrica

También conocida como nivelación diferencial, este es un procedimiento por medio del cual es posible determinar el desnivel entre dos puntos haciendo uso de un nivel y la mira vertical.

La nivelación geométrica se encarga de medir la diferencia del nivel entre dos puntos tomando la visual horizontal tomada con el nivel, hasta la mira colocada en los puntos en observación

Se puede considerar la nivelación geométrica como el método más preciso para determinar la información altimétrica necesitada. Para la mayoría de obras en edificación, este método resulta ser el más adecuado.

6.2.1. Monumentación

Se deben colocar bancos de marca auxiliares, a partir de la red nacional del IGN, en el recorrido de la nivelación, los cuales serán tomados como referencias para el trabajo en ejecución.

Existen también los bancos de marca arbitrarios, los cuales parten de un nivel supuesto. Estos se pueden emplear en trabajos en los que no sea necesario georreferenciar la nivelación.

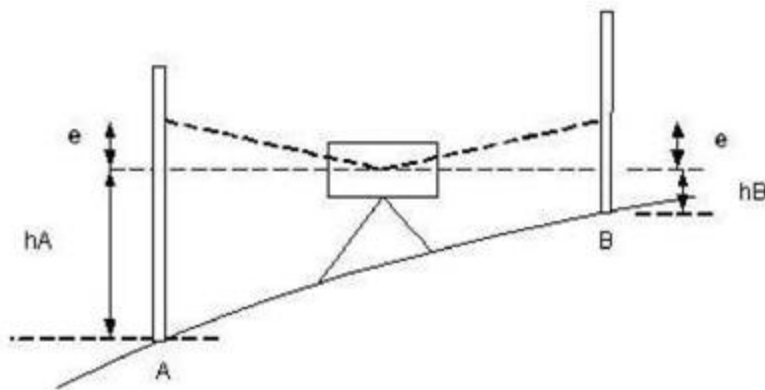
El lugar donde se ubicará cada banco de marca deberá tener un fácil acceso, sin embargo, no deberán quedar descubiertos, ya que al ser de fácil acceso pueden ser removidos por personas, vehículos o animales. Debe asegurarse que sean colocados en los pies de talud para que no corra el riesgo de sufrir algún tipo de desplazamiento.

6.2.2. Métodos de medición

Dentro de la nivelación geométrica existen dos tipos, la nivelación simple y la nivelación compuesta. La primera es aquella en la que los puntos que se van a nivelar se encuentran dentro de los límites del campo topográfico, y el desnivel de los puntos puede ser estimado utilizando una sola estación.

La nivelación geométrica compuesta es empleada cuando existe una distancia mayor entre puntos, por lo que no es posible tener visuales de todos los puntos desde una sola estación. En este caso se utilizan estaciones intermedias.

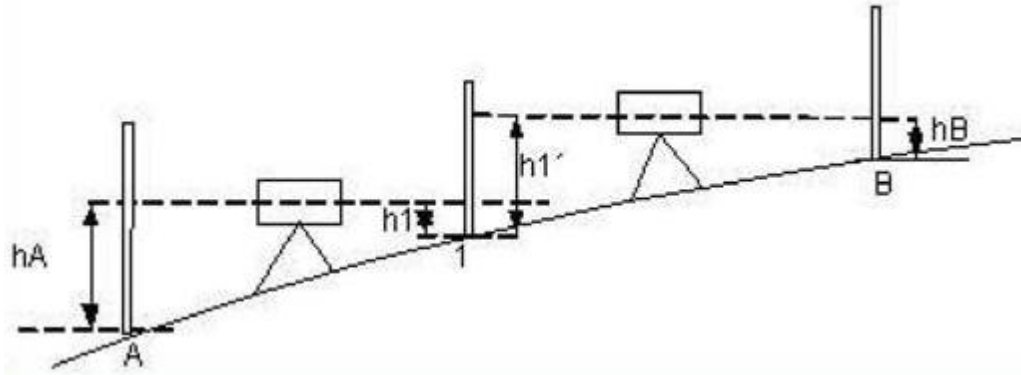
Figura 16. Nivelación simple



Fuente:

http://datateca.unad.edu.co/contenidos/201620/MODULO%20TOPOGRAFIA/leccin_34_nivelacion_geometrica_desde_el_extremo.html. Consulta: 20 de julio 2014.

Figura 17. Nivelación compuesta



Fuente:

http://datateca.unad.edu.co/contenidos/201620/MODULO%20TOPOGRAFIA/leccin_34_nivelacion_geometrica_desde_el_extremo.html. Consulta: 20 de julio 2014.

Existen dos métodos en la nivelación compuesta:

- Nivelación simple con cierre: este método es realizado trasladándose desde un punto de referencia hacia el siguiente, y luego retornando al punto de referencia inicial. Las visuales en este caso no deben exceder los 50 m.
- Nivelación por doble posición instrumental: en esta nivelación se calcula el desnivel entre puntos dos veces, hasta llegar al punto de referencia siguiente. Las visuales no deben superar los 50 m. Deben utilizarse dos miras en las que se realizarán mediciones simultáneas.

6.2.3. Tolerancias

En la nivelación simple y por doble posición instrumental la tolerancia máxima admisible será determinada por la siguiente expresión:

$e = \pm 0,0005$ en montajes, nivelación de alta precisión. Como compuertas, techos, perfiles, entre otros.

$e = \pm 0,0005 * k^{0.5}$ nivelación de precisión

$e = \pm 0,01 * k^{0.5}$ nivelación corriente

Donde:

e = error de cierre expresado en metros

k = distancia total del recorrido ida y vuelta, en kilómetros

Estas tolerancias son empleadas en Guatemala y tomadas a partir de especificaciones de países latinoamericanos, tales como Chile, México y Colombia.

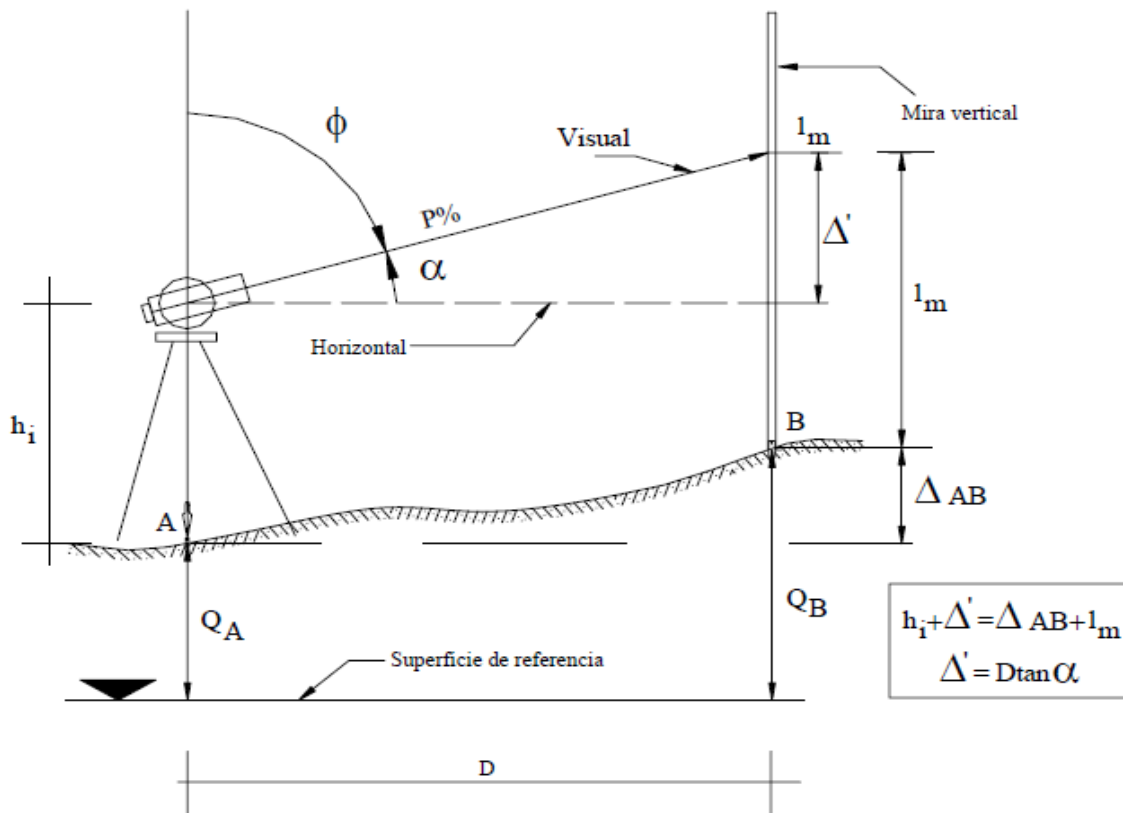
6.2.4. Compensación

Si la nivelación cerrada cumple con la tolerancia definida anteriormente, deberá ejecutarse la compensación del error, el cual se distribuirá por partes iguales si las distancias son constantes o una distribución proporcional a la distancia existente entre cada punto.

6.2.5. Otras formas de nivelación

- Nivelación trigonométrica: este método utiliza una función que relaciona el ángulo vertical y la distancia para determinar la cota de un punto. Pueden utilizarse estaciones totales y teodolitos en este tipo de nivelación.

Figura 18. Nivelación trigonométrica



Fuente: CONSTANTINI W. Topografía II, p. 26.

$$\Delta_{AB} = D \tan \alpha + h_i - l_m$$

$$\Delta_{AB} = D \cot \phi + h_i - l_m$$

$$\Delta_{AB} = \frac{PD}{100} + h_i - l_m$$

Donde:

Δ_{AB} = desnivel entre A y B

D = distancia horizontal

α = ángulo vertical de elevación

ϕ = ángulo cenital

P = inclinación de la visual en %

h_i = altura del instrumento

h_s = altura de la señal (lectura en mira)

- Nivelación taquimétrica: este es un procedimiento topográfico que se apoya en la medición óptica de distancias para la ubicación plano-almétrica de puntos sobre la superficie terrestre.

$$\Delta_{AB} = KH \cos\phi \sin\phi + h_i - l_m$$

Donde:

Δ_{AB} = desnivel entre A y B

K = constante diastimométrica (generalmente 100 en instrumentos modernos)

Φ = ángulo vertical

H = diferencia entre hilo superior e hilo inferior

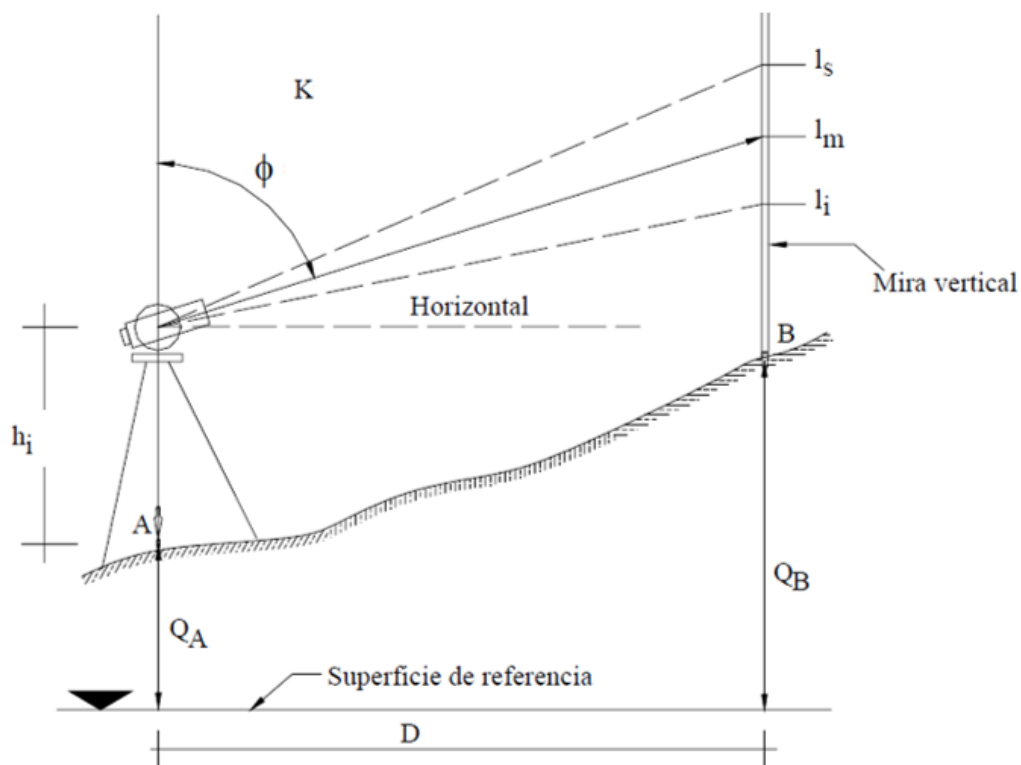
h_i = altura del instrumento

l_m = hilo medio

Por tratarse de un procedimiento rápido es recomendado para determinar puntos de relleno, en donde no se requiere de gran precisión.

Generalmente, en trabajos de taquimetría, se toman varios puntos a partir de la misma estación.

Figura 19. Nivelación taquimétrica



Fuente: CONSTANTINI W. Topografía II, p. 17

- Nivelación con GPS: en este tipo de nivelación la precisión puede llegar a ser de pocos milímetros, pudiendo cubrir distancias de 10 000 o 20 000 m manteniendo la precisión. La diferencia que presenta este tipo de nivelación es que proporciona una cota elipsoidal, lo que puede ser inconveniente cuando se necesita una altura absoluta, es decir referida al nivel del mar. Teniendo que realizar un procedimiento de reducción.

7. MONOLITOS Y PUNTOS DE REFERENCIA

7.1. Generalidades

En los estudios topográficos es necesario materializar ciertos puntos que servirán de referencia en cada proyecto, lo que nos permitirá establecer una relación entre el trabajo de gabinete y el trabajo de campo.

Los monumentos que serán utilizados para plasmar en campo los vértices de coordenadas planimétricas serán denominados monolitos de triangulación (mojones), y a aquellos utilizados para un sistema de posiciones altimétricas se denominarán puntos de referencia o bancos de marca. Dichos puntos estarán ligados al sistema de coordenadas WGS-84 GTM para el estudio por medio de una poligonal topográfica y en cota mediante una nivelación. Es de gran importancia la forma en que estos puntos se plasmarán en el terreno, ya que este es el único elemento del estudio que permanecerá en el tiempo.

7.2. Monolito de triangulación

La ubicación de estos monumentos en el terreno deberá estar en lugares que aseguren su duración, por lo que es importante seleccionar terrenos firmes, y a su vez evitar lugares que estén expuestos a deslizamientos y/o al paso de personas, vehículos y animales. El lugar elegido para establecer cada vértice debe ser apto para la instalación de equipos de observación y medición.

Previo a fundir los vértices de una poligonal es muy importante tener en consideración que es necesario revisar la adecuada visibilidad entre cada punto, y se debe evitar que las visuales sean próximas al suelo, esto debido a la reverberación del calor.

7.3. Puntos de referencia (banco de marca)

La ubicación de los puntos deberá cumplir con las siguientes condiciones:

- Deben ser ubicados cercanos a la zona de estudio, siendo posible el control o replanteo correspondiente mediante una sola operación instrumental.
- Debe considerarse el proyecto en su totalidad para definir la ubicación de los puntos de referencia, con el fin de evitar su reposición por la construcción de caminos, canales, ensanches, entre otros.
- Cada punto deberá situarse, en la medida de lo posible, alejado de construcciones en altura, líneas de alta tensión o bosques, sin embargo, la distancia entre ellos debe mantenerse.

7.4. Monografías (libretas de campo)

Con el objeto de identificar fácilmente la referencia topográfica, se recomienda indicar en un informe la ubicación en forma de monografía o croquis, incluyendo una fotografía digital del punto; elaborando para los vértices, monolitos de triangulación y puntos de referencia.

8. ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS PARA SISTEMAS HIDRÁULICOS

Es importante, para la salud de una población, que exista una red de distribución de agua potable y una red de alcantarillado tanto pluvial como sanitario. Por esto es necesario realizar los estudios previos correspondientes que permitan obtener la información correspondiente para realizar un diseño adecuado a las condiciones del lugar en consideración. Dentro de estos estudios se encuentra el estudio topográfico, el cual representa una parte importante al momento de diseñar. A continuación se establecen ciertos parámetros a tomar en cuenta para la realización de dicho estudio.

8.1. Levantamientos topográficos para sistemas de agua potable

El agua potable es un recurso necesario para la subsistencia de una comunidad, por dicho motivo es de suma importancia un correcto diseño y ejecución de un sistema de abastecimiento de agua potable. A continuación se darán recomendaciones para la ejecución de un levantamiento topográfico para dicho fin.

Al iniciar el levantamiento es preferible hacerlo en el lugar de captación, y continuar desde este punto hasta el sitio probable del tanque de distribución.

El método más adecuado para el levantamiento de la línea de conducción es la de conservación de azimuts, con orientación magnética en líneas hasta de 10 km; para líneas con distancias mayores a esta es recomendable realizar una orientación astronómica al principio y al final de las poligonales.

Existen varios métodos para determinar la dirección de la meridiana astronómica, el de uso más común es el de distancias cenitales absolutas del sol para referir el control horizontal a la meridiana astronómica.

Cuando exista un desnivel considerable entre el área de captación y el tanque, que permita que la conducción pueda trabajar por gravedad, la línea será trazada taquimétricamente. La estación inicial se ubicará cerca del lugar de captación y finalizará en la zona del tanque.

Se deberán tomar las lecturas de distancia y ángulos verticales entre los vértices de manera recíproca, lo que evitará posibles errores. Entre puntos consecutivos la distancia máxima deberá ser de 300 m.

En donde se necesite conocer la configuración del terreno, se obtendrá utilizando el método de secciones transversales. Los puntos importantes deberán ser detallados, tales como linderos, alcantarillas, puentes, cruce con caminos, arroyos, entre otros. En el caso de trazar una línea de conducción por bombeo, esta se realizará taquimétricamente.

Por otra parte al realizar el levantamiento para redes de distribución la forma más recomendable es utilizar planos fotogramétricos (orto foto). De no contar con este tipo de información es necesario realizar un levantamiento topográfico de una poligonal envolvente cubriendo el área más poblada de la localidad.

En caso de existir calles bien definidas el relleno del polígono se realizará iniciando en un cruce de este y cerrando en otro cruce de dicho polígono; y para ubicar los detalles topográficos importantes se hará uso de radiaciones.

8.2. Levantamientos topográficos para sistemas de drenajes

Al igual que el agua potable, es de gran necesidad contar con un sistema que sea capaz de recoger y transportar las aguas tanto residuales como pluviales de una población desde el lugar donde se originan hasta el lugar donde se verterán.

Una red de alcantarillado es una estructura hidráulica que trabaja a presión atmosférica, es decir esta funciona por gravedad. El diseño de una red de alcantarillado ya sea pluvial o sanitario debe cumplir con algunos parámetros importantes, para que el sistema cumpla con los requerimientos solicitados. Este diseño debe acoplarse a la pendiente del terreno en consideración o en otro caso se trabaja con la pendiente de la tubería. Debido a esto es importante el realizar un correcto estudio topográfico, para contar con la información necesaria que permita diseñar la obra de la manera más eficiente.

Para drenajes pluviales es importante conocer el área que tributará hacia la zona en consideración, por lo que es necesario realizar una nivelación que permita identificar y trazar la cuenca de aporte, y de ser posible las cuencas vecinas.

Se tendrán dos casos distintos en consideración al realizar un trabajo topográfico de este tipo, esto dependerá de si se cuenta o no con una infraestructura de pavimento.

En el levantamiento topográfico para zonas sin pavimento deberán tomarse las cotas en el centro de las calles, esquinas, veredas y especialmente se deberá incluir cotas de las entradas de las viviendas, estas serán las que de alguna manera condicionen los niveles y las cotas de los elementos que serán incluidos dentro del proyecto.

En el caso de un drenaje sanitario el levantamiento planimétrico permite localizar la red dentro de las calles, ubicar los pozos de visita, y de igual forma ubicar todos aquellos puntos que sean considerados importantes. Comúnmente se utiliza el método de conservación de azimut para obtener los datos, ya que presenta la ventaja de permitir conocer el error de cierre.

La nivelación deberá realizarse con instrumentos que permitan una precisión mínima de 1 cm por km. Se ejecuta sobre el eje de la calle, tomando cotas en los cruces, cada 20 m y en cambios de pendiente. Los bancos de marca deberán definirse previo a iniciar la nivelación y asegurar que se conserve su ubicación. Es posible realizar este levantamiento utilizando el método de nivelación simple o nivelación compuesta en los tramos que sea necesario.

Cuando exista infraestructura es importante conocer con mucha precisión la ubicación tanto planimétrica como altimétrica de las redes de servicios como telefonía, agua potable, electricidad, entre otros. De esta forma se podrá ajustar el proyecto a las condiciones existentes de manera que se defina la mejor opción tomando en cuenta la localización y el costo del proyecto.

9. BATIMETRÍA EN RÍOS Y EMBALSES

Se le denomina batimetría al procedimiento de topografía empleado para determinar la configuración de una superficie que se ubica bajo el agua ya sea natural o artificial.

El levantamiento batimétrico es utilizado especialmente para estudios topográficos en bocatomas, embalses, enrocados y generalmente para estudios donde se necesite conocer el terreno y como incidirá en la obra en consideración, ya sea existente o futura.

El instrumental utilizado para realizar el levantamiento puede ser:

- Estación total y prisma
- Estación total, prisma y escandallo
- GPS y escandallo
- Estación total y ecosonda
- GPS y ecosonda

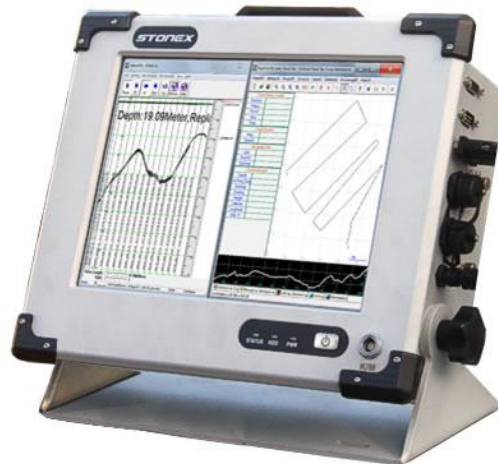
Figura 20. **Escandallo**



Fuente: <http://www.francobordo.com/variados-seguridad-escandallo-metros-plastimo-p-318.html>.

Consulta: 20 de julio 2014.

Figura 21. **Ecosonda**

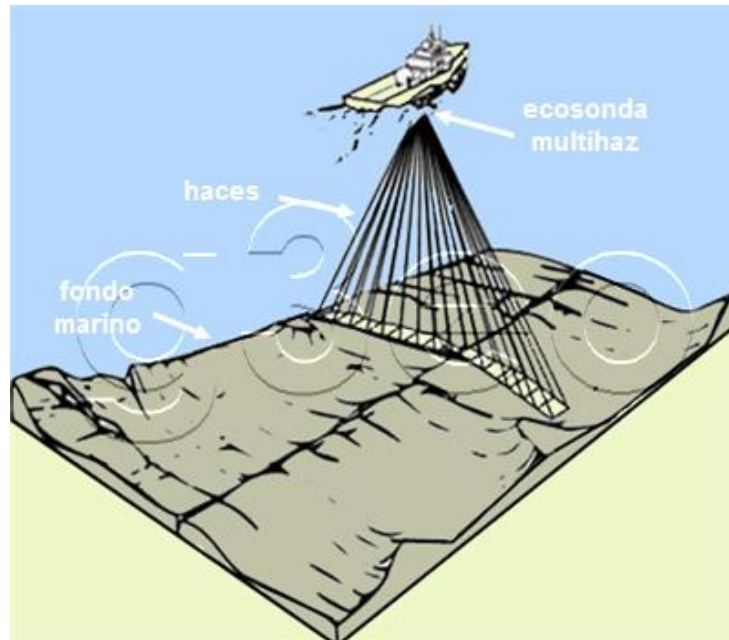


Fuente: http://www.geobauen.com.ar/ecosonda_STONEXSDE-e6.html. Consulta: 20 de julio 2014.

Generalmente es empleada la siguiente metodología para este trabajo:

- Planificación considerando el requerimiento específico del proyecto
- Determinación del equipo a utilizar según tipo de estudio
- Ejecución de la batimetría
- Procesamiento de datos
- Informe y resultados

Figura 22. Diagrama de batimetría con ecosonda



Fuente: <http://www.g3eo.info/batimetria.html>. Consulta: 20 de julio 2014.

9.1. Batimetría con estación total

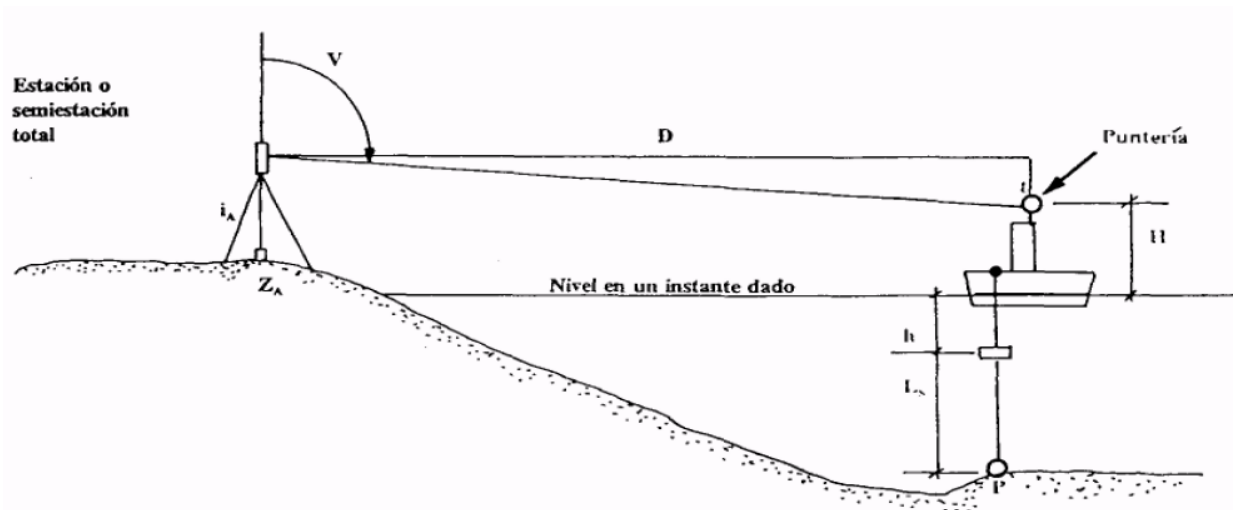
El levantamiento para un embalse se deberá ejecutar determinando perfiles perpendiculares al eje del muro. De preferencia se deberá iniciar cada perfil (kilómetro 0) en el eje del coronamiento. Se deberá instalar la estación total sobre un punto que establecerá el inicio del perfil. Dicho punto podrá ser fijado con una estaca enterrada a ras de suelo y con un clavo al centro o fundido y marcado al centro con clavo tipo "hilti".

Los perfiles deberán realizarse a distancias entre 10 m y 50 m, enumerando correlativamente cada perfil. Cada punto del perfil se tomará aproximadamente a cada 20 m, las coordenadas de dichos puntos se definirán

por medio de la estación total y se medirá la profundidad utilizando el escandallo o por medio del ecosonda.

Si en determinado caso no fuera posible determinar la batimetría desde el muro se realizará por medio de alineamientos, procurando que estos sean paralelos al eje del cauce o cuerpo de agua, obteniendo los perfiles perpendiculares a estos alineamientos definidos por las estacas.

Figura 23. **Batimetría con estación total**



Fuente: CHAPAPRIA, Vicente Esteban. *Estudios topo-batimétricos*. p. 11.

Al realizar la batimetría en un río es necesario definir un alineamiento paralelo al eje de este, tomando perfiles en forma transversal. Las distancias pueden variar entre 10 a 50 m entre perfiles dependiendo del tipo de estudio.

Al obtener la profundidad mediante el uso del escandallo es importante prevenir el movimiento que provoca la corriente del río, de tal modo que la información que se obtenga corresponda al punto observado en la superficie.

9.2. Batimetría con GPS

Al realizar una batimetría con equipos GPS pueden emplearse dos métodos, el método RTK (tiempo real) y el método cinemático en posproceso. Debe sincronizarse la medida GPS y la medida de profundidad en ambos casos, especialmente si se utiliza un ecosonda.

El método en tiempo real se hará definiendo una línea teórica perpendicular al eje del curso, se introducirá en el controlador GPS para luego tomar una serie de puntos cada 20 m. Se debe asegurar que se cuente con una manera de identificar la posición que genera el GPS y la medida de profundidad. Siempre se debe tomar en cuenta la altura de antena con la que el receptor operará.

Al utilizar el método cinemático se encuentra implicado el posprocesamiento de la información, se debe acompañar al archivo de coordenadas con una columna indicando la hora de medición, generalmente esta es hora GPS, por lo que debe ser ajustada para que el archivo se pueda sincronizar a hora local o GMT (tiempo medio de Greenwich) para lograr la compatibilidad con la información del ecosonda.

En ambos casos, tanto el RTK como el cinemático, deberá implementarse un sistema local de coordenadas. El nivel de agua del borde actual tanto en embalses como ríos deberá ser levantado, empleando una densificación que permita su correcta representación gráfica.

La tolerancia será de 0,25 m para ambas componentes, debido a las condiciones que se presentan regularmente en ríos y embalses, como la dificultad para obtener la información y el movimiento del fondo.

10. TOPOGRAFÍA EN EMBALSES

Debido a la envergadura de estas obras son requeridos distintos trabajos de topografía, los cuales estarán en función de la etapa del estudio.

10.1. Zona de inundación

Se debe identificar la zona que se verá afectada por el emplazamiento del embalse. Se considerará el área aguas abajo del muro hasta aquellos terrenos que estarán afectados por la instalación de áreas de trabajos, se deben considerar los caminos de acceso y construcción, salida de túneles, canal de carga o conducción, casas de máquinas y obras adyacentes, el área de asentamiento del muro y los sectores que se encuentran aguas arriba del muro con la extensión que establezca la cota de coronación o la de expropiación.

10.2. Red de monolitos de triangulación

Se deben materializar los puntos necesarios para cubrir toda el área de inundación, es necesario que exista visibilidad entre estos. Los puntos pueden ser medidos mediante poligonal, triangulación o por medio de cuadriláteros. Deben construirse en parejas, dos aguas abajo, dos en el eje del muro y mínimo dos pares aguas arriba de la presa. La cota en la que se deben construir los monolitos debe ser superior a la cota de coronación. Se deben construir monolitos tanto del lado izquierdo como del lado derecho del río.

10.3. Poligonal y nivelación geométrica

Es necesario realizar una poligonal, una triangulación o una red de cuadriláteros, con el cual se realizará la afinación de coordenadas para los puntos de referencia de las obras complementarias del embalse y puntos de referencia de nivelación geométrica.

Pueden calcularse las coordenadas mediante el uso de GPS y confirmadas por medio de topografía tradicional, para de esta manera asegurar que exista intervisibilidad y se comprueben los errores de medición.

10.4. Coordenadas de sondeos

Los sondeos deben amarrarse al sistema topográfico previamente creado, de igual manera deberá construirse un hito en cada uno de ellos, donde se indique sobre una placa las coordenadas, la profundidad, inclinación y el azimut del sondeo.

10.5. Topografía de túneles o canales de desvío

Los levantamientos topográficos para este tipo de obra se deben realizar en los sectores de entrada y de salida en los túneles y/o canales que servirán de desvío del embalse. Dichos levantamientos deben amarrarse al sistema de coordenadas establecido en la zona de estudio, tanto la información planimétrica como la altimétrica.

10.6. Replanteo cota de expropiación aguas arriba del muro

Se realizará el replanteo de cota de expropiación una vez se tenga definida la cota final de la presa. Este trabajo consiste en materializar por medio de estacones la cota máxima de expropiación. También se dejará una marca, asegurando su duración, la cual servirá para su identificación desde caminos a cotas menores. La distancia máxima entre estacones será de 1 000 m.

10.7. Replanteo eje de muro

Deben especificarse en el plano del proyecto las coordenadas del eje de la presa. Deberán replantearse dichas coordenadas, generando un perfil del terreno basado en el trabajo de replanteo de eje de la presa.

10.8. Arrastre de cota a zona de riego

Es necesario trasladar la cota desde el embalse hasta la última zona beneficiada que tenga obras de riego, ya que esta puede extenderse varios kilómetros aguas abajo del embalse. El traslado de las cotas debe hacerse por medio de puntos de referencia a cada 1 000 m. En estos se deberán especificar coordenadas y cotas. Se podrá realizar el cálculo de coordenadas haciendo uso de GPS de doble frecuencia, y el traslado de la cota por medio de nivelación geométrica.

11. FOTOGRAMETRÍA

La fotogrametría consiste en la toma de fotogramas individuales del terreno, tanto aérea como terrestre. Este es un método de medición indirecta basado en la proyección ortogonal de una imagen fotografiada sobre un plano de referencia.

Existen dos tipos de fotogrametría en función del objetivo del producto final, los cuales son:

- Fotogrametría métrica: mediante esta se pueden determinar distancias, elevaciones, áreas, volúmenes, entre otros. Por otra parte, es posible obtener planos topográficos, realizando mediciones a las fotografías obtenidas con esta técnica.
- Fotogrametría interpretativa: este tipo de fotogrametría es utilizado para el reconocimiento y análisis de objetos a partir de la consideración de algunos factores en las fotografías, tales como la forma, tamaño, sombra, tono, patrón y textura.

En función de la forma de obtención de la fotografía, se divide en:

- Fotogrametría terrestre: se utilizan estaciones fijas en el terreno, sobre las cuales son tomadas las fotografías. Este tipo de fotogrametría es poco utilizado, se emplea únicamente cuando la fotogrametría aérea es muy costosa o resulta imposible realizarla.

- Fotogrametría aérea: consiste en tomar fotografías desde el aire, mediante el uso de un avión, el cual debe ofrecer seguridad y rendimiento durante el vuelo. Las fotografías obtenidas pueden ser de dos tipos, verticales u oblicuas. Las verticales son las más utilizadas, son obtenidas cuando el eje de la cámara es vertical. Las oblicuas se obtienen cuando el eje de la cámara forma un ángulo con la vertical.

Existe una serie de etapas dentro del proceso fotogramétrico para poder obtener una información confiable, estas etapas son:

- Toma de fotografía
 - Planificación del vuelo
 - Vuelo y fotografía
 - Posprocesos
 - Escaneo de fotografía análoga
- Restitución y ortoproyección
 - Orientaciones
 - Aerotriangulación
 - Restitución
 - Ortoproyección
- Producción fotogramétrica
 - Aerotriangulación de bloques y modelos
 - Modelos digitales del terreno
 - Ortofotos
 - Mapas topográficos básicos
 - Vectorización

En muchas obras de ingeniería es relevante el uso de restituciones aero fotogramétricas para la ingeniería básica, por esto es preferible realizar dichos trabajos con equipos conocidos como semianalíticos. Los vuelos deben ser planificados en función a los objetivos del estudio, algunos de los elementos básicos a considerar son:

- Precisión requerida en planimetría y altimetría
- Escala de representación del plano
- Apoyo topográfico para control terrestre
- Foto-identificación de puntos de apoyo
- Traslapes longitudinales y laterales
- Coordenadas UTM para toda escala

El control topográfico de terreno implica la identificación, señalización, monumentación, obtención de coordenadas y cotas de los puntos de apoyo. La tolerancia para estos puntos será menor que para una poligonal topográfica, considerando suficiente 0,05 m para puntos generados con estación total y cuando los puntos sean obtenidos con GPS bastará que el punto haya sido fijado en posproceso.

En Guatemala existe la división de fotogrametría dentro del Instituto Geográfico Nacional (IGN) la cual se encarga de proporcionar información fotogramétrica de calidad.

11.1. Escala de la fotografía

La escala de la fotografía se determina por medio de la expresión:

$$E = \frac{Hr}{f}$$

Donde:

f = distancia focal

Hr = altura de vuelo sobre el terreno

En el caso de terrenos no llanos existirán múltiples escalas, por esto, al referirse a la escala de la fotografía se tomará un valor medio, respecto a un plano de referencia.

La altura del vuelo está dada por:

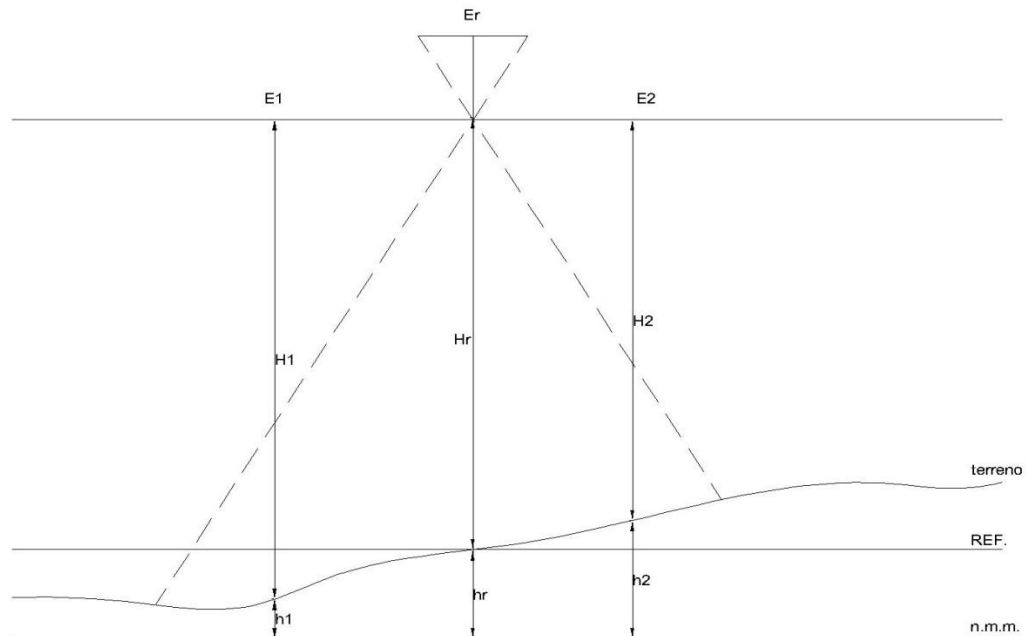
$$Hr = H - hr$$

Donde:

H = altura del vuelo del avión sobre el nivel del mar

hr = altura sobre el nivel del mar del terreno fotografiado

Figura 24. Descripción del plano de referencia



Fuente: elaboración propia, con base al programa AutoCAD 2012.

H1 = altura del vuelo sobre las máximas depresiones del terreno

H2 = altura del vuelo sobre las máximas elevaciones del terreno

Hr = altura del vuelo sobre el plano de referencia

11.2. Cobertura

Es necesario verificar que todo punto que pertenece a la zona de trabajo programada aparezca al menos en dos fotografías, esto para poder asegurar que toda la zona quede cubierta estereoscópicamente. Se debe obtener una zona de empalme triple en una línea de vuelo de 20 %, con una tolerancia de ± 5 %. Deben tenerse las consideraciones de traslape, conforme a la topografía del terreno para asegurar el recubrimiento total de la superficie de interés.

11.2.1. Traslape longitudinal

Generalmente, el traslape longitudinal promedio entre fotografías sucesivas debe ser suficiente para proveer una cobertura estereoscópica.

Tabla II. **Porcentaje de recubrimiento**

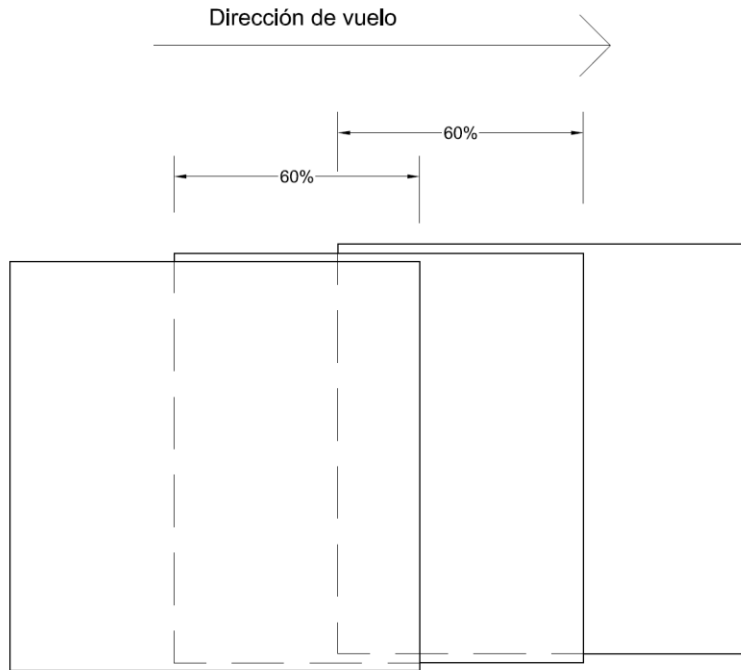
Traslape conforme al tipo de terreno	
Plano	60%
Ondulado	65%
montañoso	70%

Con una variación de $\pm 3\%$

Fuente: elaboración propia.

Para vuelos de los que se derivarán ortofotos se recomienda utilizar traslape longitudinal de 80 %.

Figura 25. **Recubrimiento longitudinal**



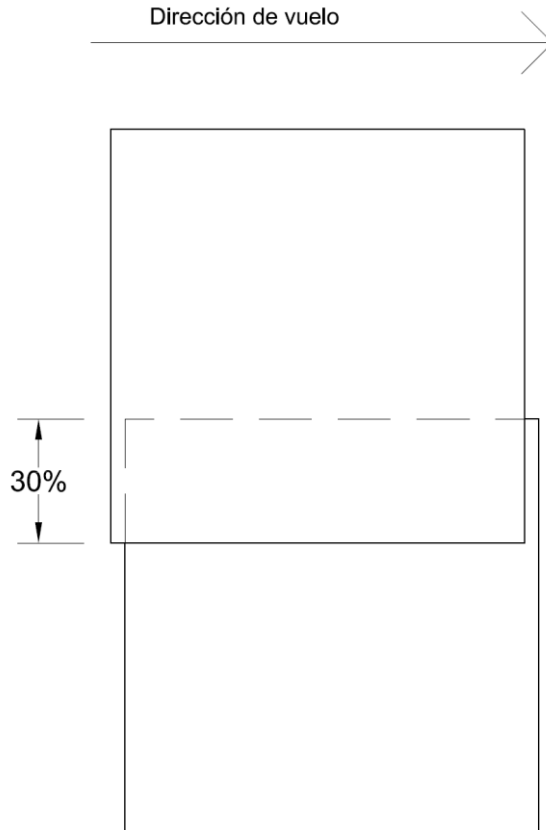
Fuente: elaboración propia, con base al programa AutoCAD 2012.

11.2.2. **Traslape lateral**

El traslape lateral debe ser como mínimo de 30 %. El área de trabajo debe tener sobreposición estereoscópica.

En el caso de las líneas de vuelo perimetral se debe cubrir más allá de la frontera del proyecto, una franja de por lo menos 15 % del ancho en el terreno de la línea de vuelo.

Figura 26. **Recubrimiento lateral**



Fuente: elaboración propia, con base al programa AutoCAD 2012.

11.3. Tolerancia

La tolerancia en la planimetría está directamente relacionada con la precisión que da el apoyo terrestre, por lo que será suficiente la conformidad con estos puntos. Sin embargo, se podrá revisar la planimetría en terreno por medio de las líneas y áreas para compararla posteriormente con su representación en el plano.

La tolerancia en planimetría será de un error medio cuadrático menor de 3 veces el GSD nominal (*ground sample distance*, tamaño de pixel en el terreno). Esta precisión debe ser calculada en cada coordenada, por medio de la comparación entre la medición que se obtiene en el modelo estereoscópico y una cantidad representativa de puntos de chequeo bien definidos en campo utilizando métodos topográficos convencionales.

La deriva no debe exceder en promedio más allá de los 10° para cada línea de vuelo.

El ángulo de inclinación no debe exceder de 4°.

Los parámetros mencionados son de acuerdo con las especificaciones de la división de fotogrametría del Instituto Geográfico Nacional.

11.4. Residuales

Se recomienda entregar como parte dentro del informe técnico de restitución, el protocolo que indique los residuales obtenidos en el proceso de ajuste de los modelos. Dichos residuales serán utilizados tanto para restituciones que posean apoyo terrestre modelo a modelo como a aquellas que sean restituciones aero trianguladas.

12. LÁSER AEROTRANSPORTADOS

El sistema LiDAR aerotransportado es un sistema que emplea una técnica de barrido óptico con pulsos láser para obtener información del terreno. La principal ventaja de este sistema es que el escáner láser genera coordenadas tridimensionales de millones de puntos sobre la superficie del terreno en un período corto de tiempo.

LiDAR, al igual que RADAR y SONAR es un acrónimo para “*Light detection And Ranging*”, en el que el láser es empleado como fuente de luz. El LiDAR es la técnica que se emplea para obtener la medida de distancia a puntos específicos por medio de la utilización del láser. Este sistema se logra a través de la integración de tres tecnologías, las cuales son:

- Telémetros láser compactos (LiDAR)
- Unidad de medición inercial (IMU)
- Sistema de Posicionamiento Global (GPS)

Estos tres componentes son combinados con sensores de adquisición de imágenes, lo que permite conseguir de forma precisa mapas topográficos digitales del terreno en consideración.

Los datos que se obtienen mediante este sistema son directamente las coordenadas tridimensionales de los puntos que refleja el terreno, lo que permite trabajar directamente a partir de estos y realizar modelos digitales de la superficie.

Las especificaciones en este capítulo, se presentan con base en el *USGS NGP Base Lidar Specification*, del servicio geológico de los Estados Unidos.

12.1. Planificación

Es importante una previa planificación, la cual permitirá ejecutar de una manera ordenada un levantamiento LiDAR. Algunos aspectos a tomar en cuenta son los siguientes:

- Metodología adoptada para la ejecución de los trabajos
- Cantidad y características del equipo topográfico que se usará
- Programa de vuelo

12.2. Sistema de navegación

El sistema debe estar equipado con una unidad de navegación de tiempo real que se empleará para el control, planificación y seguimiento del vuelo. Este deberá estar conectado al GNSS y a los sensores que compongan el sistema.

El sistema debe contar con capacidad de integración del sistema GNSS y el sistema inercial (INS) para la corrección de datos capturados por el sistema inercial de medida (IMU), de esta manera poder obtener una trayectoria y datos más confiables.

La integración con el sistema LiDAR debe posibilitar la planificación, seguimiento del vuelo y control de las distintas pasadas.

La plataforma aerotransportada deberá incorporar un ordenador portátil que permitirá el control del sistema de navegación.

12.3. LiDAR aerotransportado

El sistema LiDAR debe contar con las siguientes especificaciones:

- El campo de visión transversal (FOV) deberá estar comprendido entre 50° y 60°.
- La frecuencia de escaneado deberá alcanzar un mínimo de 40 Hz con un FOV de 50°.
- La frecuencia del pulso deberá ser por lo menos de 50 kHz, asumiendo un FOV de 50°.
- El sistema debe tener un mecanismo de compensación de alabeo.
- El rango dinámico de la señal será de al menos 8 bits, para cada pulso detectado.

12.4. Unidad de medida de datos inerciales (IMU)

El sistema debe estar equipado con una unidad de datos inerciales, la cual debe ir integrada al sistema en el lugar determinado por el fabricante. El IMU debe cumplir con las siguientes especificaciones:

- Precisión de por lo menos 0,008° para *heading* (desvío) y 0,005° para *roll* y *pitch* (alabeo y cabeceo).
- La frecuencia de registro de al menos 200Hz
- La deriva debe ser menor que 0,5°/hora
- Deberá tener conexión al GNSS para la corrección de datos INS

12.5. Software

El sistema de navegación debe contar con un software que permita la planificación del vuelo, con la posibilidad de integrar información de diferentes fuentes para ayudar a la planificación. El software debe ser compatible con el sistema LiDAR.

El software destinado a manejar la información del LiDAR debe permitir integrar los datos capturados en las diferentes pasadas de forma independiente para realizar un ajuste y compensación obteniendo una nube de datos brutos. De igual forma debe ser capaz de gestionar y visualizar la información radiométrica, altimétrica u otra capturada, para poder filtrar y realizar clasificaciones de la información capturada.

Para el manejo de datos inerciales, el software debe poder procesar y corregir la información obtenido por la IMU, para poder realizar la orientación de la información LiDAR capturada.

12.6. Entrega de información

Se recomienda desglosar la información generada por el sistema aerotransportado de la siguiente manera:

- Planificación en virtud a los puntos topográficos de origen
- Planificación considerando condiciones climáticas
- Archivo GPS de las posiciones de la plataforma aerotransportada
- Archivo de puntos de suelo
- Procesamiento de puntos

13. REPLANTEO DE OBRAS

El replanteo es el proceso de trasladar con la mayor exactitud posible los detalles representados en el plano al terreno, es un procedimiento contrario al levantamiento, es decir, a la toma de datos

Al realizar un replanteo es importante tomar en cuenta tres factores:

- Control horizontal
- Control vertical
- Alineamiento vertical

13.1. Ejes de replanteo

Se le denominan ejes de replanteo a las líneas de referencia desde las cuales se toman todas las medidas. Al realizar el replanteo se emplean los siguientes ejes:

- Eje horizontal
- Eje vertical
- Eje de cotas
- Eje de rotación

Existen dos tipos de ejes horizontales: los ejes principales, que se ubican perpendiculares entre sí, y los ejes auxiliares, que son paralelos a los principales, estos se emplean cuando se trata de una obra de gran extensión. Estos ejes se indican por medio de letras y números.

13.2. Puntos para replanteo

Los puntos que se necesitan para un replanteo son los siguientes:

- Estaciones primarias
- Estaciones secundarias
- Puntos de detalle

Las estaciones primarias se establecen mediante triangulación o poligonación, dichas estaciones deben permanecer en su lugar durante todo el transcurso del trabajo y deben estar colocados en lugares de fácil acceso.

Las estaciones secundarias deben ubicarse próximos a los puntos de detalle, estas son medidas desde las estaciones primarias. De igual forma que las estaciones primarias, también es necesario que permanezcan durante el desarrollo del trabajo.

Los puntos de detalle son empleados para ubicar puntos característicos de la construcción, se utilizan estacas con un clavo en el centro para ubicarlos, estos son removidos durante la construcción de la obra. Estos puntos deben estar referidos a las estaciones primarias y secundarias.

En la nivelación se utilizan puntos de referencia (bancos de marca) y los bancos de marca temporal (TBM).

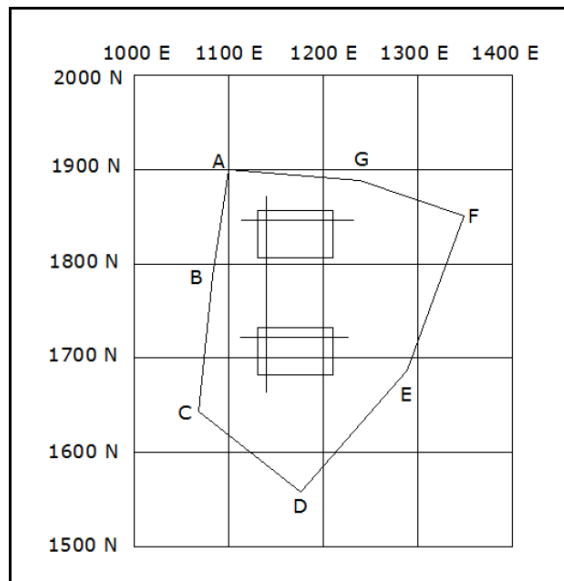
13.3. Control horizontal

El control horizontal sirve para asegurar que la obra que se va a construir esté en el sitio correcto, indicado por los planos.

13.3.2. Coordenadas desde puntos de control

Los puntos de control se ubican lejos de las líneas de trabajo, los puntos de detalle se replantean midiendo rumbos y distancias desde los puntos de control.

Figura 28. **Puntos de control**



Fuente: BANNISTER-RAYMOND-BAKER. *Técnicas modernas de topografía*. p. 363.

13.3.3. Control local

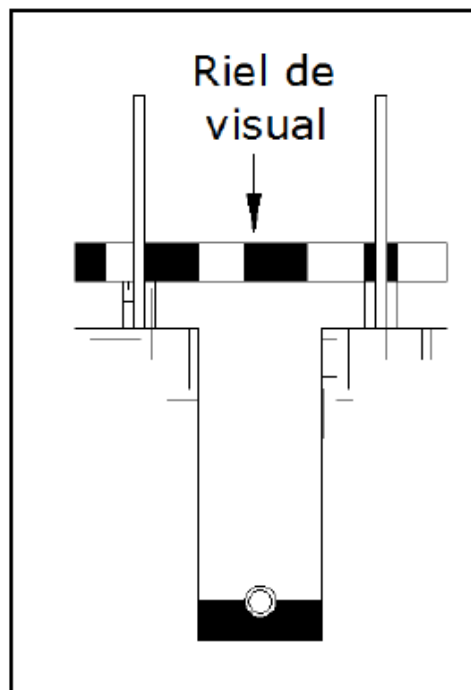
Este método se emplea para el replanteo de puntos de detalle para edificios. Se utilizan estacas para el marcaje de puntos, aplicando pintura sobre estas para ubicarlas fácilmente.

En lugar de estacas auxiliares pueden emplearse marcadores de replanteo, los cuales consisten en barras horizontales de madera, sobre las que se ubican clavos para representar las líneas de la construcción.

13.4. Control vertical

El control vertical es realizado para que todos los puntos ubicados estén a la altura correcta. El primer paso para realizar un control vertical es establecer una serie de bancos de marca temporales.

Figura 29. **Riel de visual**



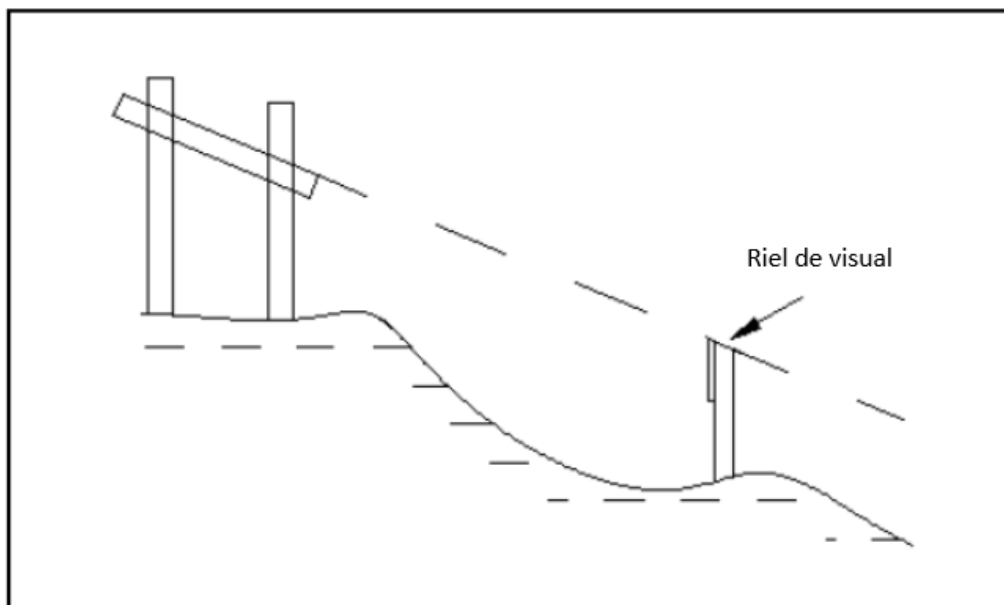
Fuente: BANNISTER-RAYMOND-BAKER. *Técnicas modernas en topografía*. p. 368.

Para realizar cortes y terraplenes se utilizan rieles a base de puntales inclinados. Se recomienda seguir los siguientes pasos para establecer los rieles portátiles o baliza viajera, sobre la pendiente:

- Establecer la localización en planta del fondo del terraplén o de la parte superior del corte.
- Colocar una estaca a 1 metro del inicio de la excavación.
- Colocar una segunda estaca a 1 metro de la primera.

Determinar la longitud del riel de visual de modo que la parte superior del riel no sea demasiado alta para los cortes ni demasiado bajo para los terraplenes, asegurando que sea visible.

Figura 30. **Riel de visual portátil (baliza viajera)**



Fuente: BANNISTER-RAYMOND-BAKER. *Técnicas modernas en topografía*. p. 370.

13.5. Tolerancia en replanteos

La tolerancia de replanteo deberá ser mínima en consideración al instrumental y procedimientos. Cada vértice no podrá exceder los 0,5 cm respecto a su valor de diseño.

El replanteo deberá ejecutarse considerando la posición planimétrica de los puntos del proyecto, además en cada punto del eje replanteado se deberá medir la cota de terreno, información que deberá compararse con las cotas de terreno utilizadas en el diseño. En terrenos que estén conformados por materiales rocosos, se podrá generar un perfil transversal correspondiente para un nuevo cálculo de volumen.

13.6. Cubicaciones

Las cubicaciones de obras pueden dividirse en:

- Caminos: modificación a carreteras, nuevos tramos de carreteras, caminos de acceso a embalses, *bypass*, caminos rurales o mejoramiento de caminos rurales. en este caso la cubicación podrá obtenerse mediante perfiles transversales a cada cierta distancia, calculando el área de cada sección transversal y posteriormente el volumen.
- Canales: canales nuevos proyectados, mejoramientos de canales existentes, fosos y contrafosos. Los valores calculados deberán ser diferenciados para cada tipo material, la cubicación se obtendrá por perfiles transversales de los cuales se deberá calcular el área y luego el volumen.
- Muros, acopios y bancos de material, se cubicarán por métodos definidos para cada caso en específico.

CONCLUSIONES

1. Las especificaciones presentadas en este documento son una recopilación de parámetros utilizados en Guatemala en la realización de levantamientos topográficos. Algunos de los criterios no se encuentran especificados en documentos guatemaltecos, pero se han empleado en trabajos ejecutados en nuestro país, obteniendo resultados satisfactorios.
2. Es importante la unificación de criterios al ejecutar un levantamiento topográfico, ya que esto permite minimizar los errores cometidos.
3. Se debe conocer y emplear las unidades de medida comprendidas en el Sistema Internacional, ya que el uso de este se encuentra normado en Guatemala por la Norma COGUANOR.
4. El sistema de referencia a utilizar en Guatemala es el GTM (Guatemala Transversa Mercator), el cual es una adaptación de la proyección UTM, empleada exclusivamente para el territorio guatemalteco.
5. Los procedimientos a utilizar en cada estudio topográfico son criterio del profesional encargado de realizar dicho estudio, de acuerdo con el grado de precisión requerido y la importancia de la obra.
6. La selección del equipo adecuado resulta importante, ya que las condiciones de este está ligado a la calidad y precisión del estudio.

7. Los levantamientos con láser aerotransportados pueden realizarse empleando aviones, helicópteros o, actualmente se está introduciendo el uso de los drones como alternativa.
8. Al contar con un terreno que presente una extensión mayor a 111 450 km², es necesario emplear métodos geodésicos, debido a que en áreas de esta magnitud la curvatura de la tierra resulta significativa.
9. Al realizar un trabajo de fotogrametría es importante realizar un plan de vuelo en el que se establecerá la ruta y la línea de vuelo del avión que se utilizará, así como también planificar la cantidad de fotos necesaria para lograr cubrir toda la extensión del terreno en estudio.
10. Dentro de los trabajos de obra civil, la introducción de agua potable y la red de drenajes cuentan con un grado de importancia en cuanto el desarrollo de una población, por lo que el levantamiento realizado para este tipo de proyecto debe ser ejecutado de la forma más precisa, tomando en cuenta las especificaciones presentadas en este texto.
11. En el caso en que una medición no cumpla con los parámetros de tolerancia, es necesario realizar el levantamiento nuevamente.

RECOMENDACIONES

1. Proveerle un adecuado mantenimiento al equipo utilizado en los trabajos topográficos, debido a que es importante mantener en condiciones óptimas el equipo para minimizar los errores que se puedan presentar a causa de fallos en el instrumental.
2. Toda la información y levantamientos topográficos deben ser verificados en campo, ya que esto permitirá realizar las correcciones correspondientes o, en el caso que sea necesario, realizar un nuevo levantamiento al no cumplir con las tolerancias requeridas.
3. Colocar los bancos de marca y mojones en lugares visibles, lo que permitirá que sea posible realizar en cualquier momento el replanteo correspondiente.
4. Al realizar un levantamiento es importante visualizar el proyecto en general, ya que de esta forma se evitará colocar puntos de referencia en lugares donde posteriormente se deberán remover debido a trabajos que se harán en
5. En el caso en que el área del terreno del que se desea obtener la información topográfica sea muy grande es necesario emplear métodos geodésicos debido a que la curvatura de la tierra resulta considerable en grandes extensiones.

6. La forma más recomendable de realizar una nivelación, cuando se desea tener la mayor precisión posible es mediante una nube de puntos, la cual se lleva a cabo tomando información de una cantidad considerable de puntos en el terreno, esta información será procesada posteriormente de forma digital por medio de *software*.
7. Al realizar un replanteo es importante haber establecido con anterioridad puntos de referencia, de los cuales se partirá para realizar el replanteo correspondiente.
8. Es importante llevar un archivo físico con la información de cada levantamiento, para poder contar con un respaldo por cualquier percance que se pueda presentar con la información digital del proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

1. COGUANOR. *Norma Nacional para sistemas de proyección para información geoespacial para Guatemala GTM, NTG 211001*. Guatemala: COGUANOR, 2010. 11 p
2. _____. *Sistema Internacional de Unidades, NGO 4010*. Guatemala: COGUANOR, 1982. 21 p.
3. Dirección de obras hidráulicas, Gobierno de Chile. *Especificaciones técnicas topográficas*. Chile: DOH, 2006. 89 p.
4. Guatemala. Ley reglamentaria para trabajos de agrimensura. Decreto Gubernativo No 1786. Guatemala: Congreso de la República, 1936. 25 p.
5. ICEP. Estado de Puebla, México. *Normas técnicas de levantamientos geodésicos y topográficos*. México: ICEP, 2010. 44 p.
6. MBN. Gobierno de Chile. *Normas técnicas de mensura*. División del catastro nacional de los bienes del estado. Chile: MBN, 2010. 284 p.
7. USGS. Servicio Geológico de los Estados Unidos. *USGS NGP base lidar specification, versión 13, ILMF-2010*. 18 p.

