

A decorative border made of small dots, forming a large rectangle that frames the central text.

FUNDAMENTOS Y CONCEPTOS BÁSICOS DE TOPOGRAFÍA

NELSON JAVIER CELY CALIXTO
JAVIER ALFONSO CÁRDENAS GUTIÉRREZ
HAIDEE YULADY JARAMILLO



Área: Ciencias naturales y matemáticas

Subárea: Topografía



**Universidad Francisco
de Paula Santander**
Vigilada Mineducación



**Universidad Francisco
de Paula Santander**
Ocaña - Colombia
Vigilada Mineducación

© Nelson Javier Cely Calixto
© Javier Alfonso Cárdenas Gutiérrez
© Haidee Yulady Jaramillo

© Universidad Francisco
de Paula Santander
Vía Acolsure, Sede el Algodonal
Ocaña, Norte de Santander -
Colombia
Teléfono: 5690088

© Universidad Francisco
de Paula Santander
Avenida Gran Colombia
No. 12E-96, Barrio Colsag
San José de Cúcuta - Colombia
Teléfono: 607 577 6655

► Ecoe Ediciones S.A.S.
info@ecoeediciones.com
www.ecoeediciones.com
Carrera 19 # 63C 32, Tel.: 919 80 02
Bogotá, Colombia

Primera edición: Bogotá, julio del 2022

e-ISBN: 978-958-503-403-7

Directora editorial: Claudia Garay Castro
Coordinadora editorial: Paula Bermúdez B.
Corrección de estilo: Daniela Pérez
Diagramación: Paula Andrea Cubillos Gómez
Carátula: Wilson Marulanda
Impresión: Carvajal Soluciones de
Comunicación S.A.S.
Carrera 69 #15-24

*Prohibida la reproducción total o parcial
por cualquier medio sin la autorización escrita
del titular de los derechos patrimoniales.*

*Impreso y hecho en Colombia–
Todos los derechos reservados*

AGRADECIMIENTOS

Inicialmente, estamos agradecidos con Dios Todopoderoso, quien nos ha permitido vivir y seguir adelante con cada uno de nuestros proyectos, con cada meta trazada, lo cual nos permite crecer como personas y ser profesionales íntegros mejorando cada día más.

Por otra parte, agradecemos a nuestra *alma mater*, la Universidad Francisco de Paula Santander Sede principal Cúcuta y Sede Ocaña, por darnos el apoyo incondicional para realizar cada uno de estos proyectos que siembran una afición investigativa en cada docente, estudiante y en la comunidad universitaria permitiendo el crecimiento de grandes proyectos que se realizan para aportar a la academia y a la investigación de nuestra universidad.

Es importante resaltar en este espacio la colaboración de estudiantes y docentes que se han vinculado en este proyecto para colaborar en el propósito de sacarlo adelante y como aporte a la universidad de forma íntegra con el fin de que sea útil para cada uno de nosotros.

Por último, cabe destacar el apoyo de los grupos y semilleros de investigación de la Universidad Francisco de Paula Santander –UFPS Cúcuta–, que desde hace mucho tiempo han permitido la obtención de los recursos para investigar de forma continua.

CONTENIDO

PRÓLOGO	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
CAPÍTULO 1. DEFINICIONES Y APLICACIONES DE LA TOPOGRAFÍA	1
1.1. Historia de la topografía	1
1.2. La topografía	6
1.3. Objetivos de la topografía	7
1.4. División en la topografía	8
1.4.1. Planimetría	8
1.4.2. Agrimensura	8
1.4.3. Altimetría	8
1.4.4. Taquimetría	8
1.5. Geodesia.....	9
1.6. Triangulación	9
1.7. Fotogrametría.....	10
1.8. Topografía plana	12
CAPÍTULO 2. PRINCIPIOS DE LA TOPOGRAFÍA PLANA	15
2.1. Conceptos básicos del estudio de una topografía plana.....	15
2.1.1. Control horizontal o planimetría.....	15
2.1.2. Control vertical o altimetría	16

2.1.3. Simultaneidad de altimetría y planimetría	17
2.2. Actividades y procedimientos de la topografía plana.....	17
2.2.1. Operaciones y trabajo de campo.....	17
2.2.2. Trabajo de oficina u operaciones de gabinete.....	18
2.3. Teoría de la topografía plana	19
CAPÍTULO 3. TIPOS DE LEVANTAMIENTO EN LA TOPOGRAFÍA PLANA	21
3.1. Levantamientos generales	23
3.2. Levantamiento longitudinal	24
3.3. Levantamientos hidrográficos.....	25
3.4. Levantamientos urbanos y catastrales.....	26
3.5. Levantamientos de minas	27
CAPÍTULO 4. ERRORES EN LAS MEDICIONES DE LA TOPOGRAFÍA	
PLANA	29
4.1. Graves errores	33
4.2. Errores sistemáticos.....	34
4.3. Corrección de errores sistemáticos.....	38
4.4. Errores aleatorios o accidentales.....	45
CAPÍTULO 5. UNIDADES DE MEDIDA EN LA TOPOGRAFÍA PLANA.....	51
5.1. Unidades de medidas angulares.....	51
5.2. Unidades de longitud.....	53
5.3. Unidades de área o de superficie.....	54
5.4. Unidades de volumen	55
CAPÍTULO 6. ESCALAS EN LA TOPOGRAFÍA PLANA	57
6.1. Procesos para escala.....	59
6.2. Fracciones representativas para convertir áreas	60
CAPÍTULO 7. OTROS TÉRMINOS EN LA TOPOGRAFÍA PLANA.....	63
7.1. Nivel de precisión	63
7.2. Verificación de campo	65
7.3. Información registrada en campo y tipos de carteras	65
7.3.1. Cartera de transferencia	66
7.3.2. Cartera a capas.....	67
7.3.3. Carteras para toma de la topografía	67
7.3.4. Cartera de chaflanes.....	67
7.3.5. Monedero electrónico.....	67
7.4. Líneas, planos, ángulos horizontales y verticales	67
7.5. Altura de un punto.....	68
7.6. Cota de un punto.....	68

7.7. Elevaciones de puntos.....	69
7.8. Curvas de nivel	69
7.9. Referencia de los puntos topográficos	69
7.10. Estacas, vértices y estaciones	70
7.10.1. Puntos momentáneos	70
7.10.2. Puntos de transición	70
7.10.3. Puntos determinantes.....	71
7.11. Pendiente de una línea	71
7.12. Los conceptos de azimut y rumbo.....	71
7.12.1. Azimut de un alineamiento	71
7.12.2. Rumbo de un alineamiento	72
7.12.3. Dirección de alineamientos	73
7.13. Clases de ángulos horizontales medidos en cada vértice de la poligonal.....	73
7.14. Clases de meridiano de referencia.....	73
7.14.1. Meridiano verdadero	74
7.14.2. Meridiano magnético	74
7.14.3. Meridianos arbitrarios.....	74
REFERENCIAS	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Chorobates	2
Figura 2. Codo.....	2
Figura 3. Cuarta	3
Figura 4. Unidades lineales modernas	3
Figura 5. Evolución.....	5
Figura 6. La topografía.....	6
Figura 7. Proceso topográfico	6
Figura 8. Levantamiento topográfico.....	7
Figura 9. Geodesia	9
Figura 10. Fotogrametría topográfica	10
Figura 11. Actualidad de la fotogrametría.....	11
Figura 12. Planimetría o control horizontal.....	16
Figura 13. Control vertical o altimetría	16
Figura 14. Trabajo de campo	18
Figura 15. Trabajo de oficina.....	19
Figura 16. Movimientos de tierra	22
Figura 17. Finalidad topográfica.....	23
Figura 18. Levantamiento longitudinal.....	24

Figura 19. Levantamiento hidrográfico	25
Figura 20. Levantamiento catastral o urbano	26
Figura 21. Levantamiento de minas	28
Figura 22. Identificación de errores y la búsqueda de cómo minimizarlos	30
Figura 23. Condiciones climáticas.....	31
Figura 24. Discusión de problemas en la construcción	31
Figura 25. Problemas personales	32
Figura 26. Errores graves	33
Figura 27. Errores sistemáticos	34
Figura 28. Diferencia entre errores.....	35
Figura 29. Satélite.....	36
Figura 30. Receptor GPS.....	37
Figura 31. Propagación	38
Figura 32. Distancia horizontal y distancia inclinada.....	39
Figura 33. Cálculo de la distancia entre los puntos P y Q.....	40
Figura 34. Error de tensión.....	44
Figura 35. Errores accidentales	46
Figura 36. Error de alineamiento.....	48
Figura 37. Error vertical.....	50
Figura 38. Graduación sexagesimal.....	52
Figura 39. Graduación centesimal.....	52
Figura 40. Radián.....	53
Figura 41. Herramientas de medidas	54
Figura 42. Planos a escala	57
Figura 43. Medición del área	60
Figura 44. Nivel topográfico.....	64
Figura 45. Verificación	65
Figura 46. Registro de datos	65
Figura 47. Referencia de puntos topográficos.....	69
Figura 48. Pendiente de una línea.....	71
Figura 49. Azimut	72
Figura 50. Rumbo	72



PRÓLOGO

Este libro presenta los conceptos fundamentales de la topografía con el fin de conocer las definiciones y aplicaciones de este campo. En primer lugar, se describen los conceptos básicos y la historia de estos, ya que resulta de vital importancia en tanto la topografía es una disciplina fundamental en los proyectos de construcción debido a su funcionalidad a la hora de realizar cada uno de estos. En ese sentido, con la ayuda de las herramientas y los equipos podemos descubrir y calcular qué movimientos de tierra (cortes o rellenos) tiene un terreno de acuerdo con la superficie terrestre y la necesidad del proyecto de construcción.

Asimismo, un levantamiento topográfico puede realizarse por medio de avanzadas herramientas y equipos los cuales, a la vez, permiten iniciar un proyecto que traerá una gran cantidad de beneficios para la sociedad, para una empresa y para la comunidad en general.

Luego de la descripción de los conceptos básicos como métodos de altimetría, planimetría y taquimetría, se expone la importancia de los principios, actividades y procedimientos de una topografía plana. De igual modo, se explica cuáles son los tipos de levantamientos y en dónde se pueden encontrar, siendo la industria minera uno de esos campos.

Es de anotar que, debido al tipo de trabajo realizado en campo, en la topografía podemos encontrar errores a la hora de realizar mediciones. De acuerdo con esto,

se mencionan los diferentes tipos de errores, así como sus correcciones, esto con el fin de elaborar mediciones más aproximadas y precisas.

Por último, en la topografía hay una gran variedad de unidades de medida entre las que se hallan las angulares, de longitud, las unidades de área o de superficie y, finalmente, de volumen. Además, encontramos las escalas, que son muy necesarias para la reducción de las medidas en la superficie real y los planos. Para finalizar, se complementa la información del libro con otros conceptos básicos de gran relevancia para realizar un trabajo topográfico en campo, nociones que, por lo demás, sirven para recopilar toda la información necesaria.

INTRODUCCIÓN

Para realizar una obra de construcción en la ingeniería civil es importante iniciar con un proceso de medición en campo o de la superficie terrestre. Así, con estas mediciones se realiza un levantamiento topográfico utilizado para elaborar los respectivos diseños y planos del proyecto por ejecutar. Asimismo, durante la ejecución del proyecto planeado es necesario llevar un control con una comisión topográfica para la construcción, los movimientos de tierra, las modificaciones que se hagan en el diseño y las actualizaciones topográficas una vez el proyecto esté construido.

Es decir, sin el conocimiento de la topografía los ingenieros no podrían realizar proyectos debido a que sin estos puntos tomados en campo no sería posible proyectar una construcción. Esto porque la toma de puntos permite, entre otras cosas, la determinación de los límites, la ubicación del lote para los diferentes servicios municipales, así como la identificación de los relieves, los barrancos, los pantanos, entre otros. En conclusión, posibilita reconocer todas las características del terreno en estudio para el proyecto.

Además, el desarrollo tecnológico ha traído consigo muchos avances para la disciplina topográfica, particularmente para las diversas aplicaciones como el procesamiento de toda la información obtenida del trabajo realizado en campo, el cual ha evolucionado con los diferentes instrumentos para la toma de mediciones como las estaciones topográficas, las estaciones totales con registros electrónicos,

el procesamiento de imágenes, el Sistema de Posicionamiento con Satélite como GPS, así como los *software* que cada vez más evolucionan para facilitar cualquier cálculo de topografía y edición de planos.

Esta evolución ha transcurrido a lo largo del tiempo, sin embargo, es importante conocer todos los conceptos básicos y generalidades de la topografía con el fin de tener la capacidad de realizar cualquier levantamiento topográfico en las diferentes situaciones de acuerdo con su tipo.

De esta manera, en el presente libro es posible conocer los conceptos básicos y las generalidades de la topografía desde diferentes aspectos, además del objetivo principal de esta disciplina, a saber, realizar un levantamiento y trazado para representar la geografía de la superficie terrestre.

CAPÍTULO 1

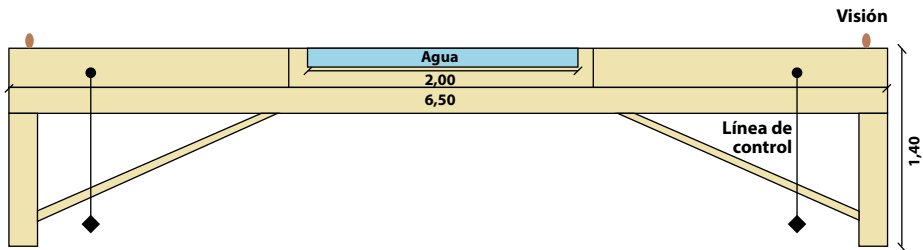
DEFINICIÓN Y APLICACIÓN DE LA TOPOGRAFÍA

1.1. Historia de la topografía

Al parecer, la topografía era confundida con la astrología, la astronomía y las matemáticas. Sin embargo, las matemáticas evolucionaron a través de las prácticas numéricas generadas por la vida cotidiana de las comunidades antiguas.

En la Antigüedad, los griegos, los egipcios y los romanos utilizaban la topografía y las matemáticas para establecer y partir los linderos de sus terrenos, para realizar mediciones y cálculos de superficies y también para trazar edificios públicos. Se cree que los egipcios fueron los iniciadores del desarrollo topográfico debido a que los hombres representaban sobre tablillas, muros y papiros lo que parecen ser mediciones de terrenos. Por otro lado, es posible deducir también que la topografía encuentra sus orígenes más remotos en las sociedades tribales, ya que cuando el hombre quiso ser sedentario y empezó a cultivar las tierras, requirió de los trabajos topográficos para realizar mediciones.

Por otro lado, en Roma los topógrafos eran llamados *sur Marti* y utilizaban el aparato de groma para fijar dos líneas a 90° en el terreno (escuadra). Otro instrumento muy utilizado para nivelar era el chorobate, diseñado con una tabla en cuyo centro había una ranura que se llenaba de agua (Mejía Gutiérrez *et al.*, 2007). La Figura 1 ilustra el chorobate, un instrumento empleado para nivelar.

Figura 1. Chorobate

Fuente: elaboración propia.

Entretanto, a los egipcios se les llamaba estira cables por desarrollar trabajos con cuerdas amarradas. Asimismo, es de anotar que la topografía tiene una relación cercana con las matemáticas al derivarse de estas, especialmente de la geometría que en griego significaba “medición de la tierra”. Ahora bien, la necesidad de obtener un patrón de medida produjo que el hombre empleara su propio cuerpo para determinar medidas como, por ejemplo, el codo (ver Figura 2).

Figura 2. Codo

Fuente: elaboración propia.

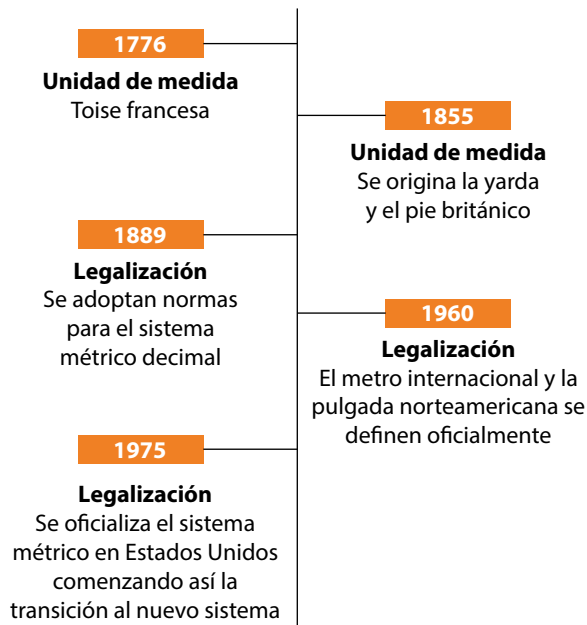
- » A la distancia entre la punta del dedo medio y el codo se le denominó codo.
- » A la distancia entre la punta del dedo meñique y el dedo pulgar una vez la mano esté completamente extendida se le denominó cuarta, que era igual a medio codo.

Figura 3. Cuarta

Fuente: elaboración propia.

- » La distancia del pie también fue otra medida. Esta era igual a tres cuartas partes del codo.
- » La distancia de la altura del hombre era igual a cuatro codos.

Como la altura y las medidas de los hombres eran diferentes, en Egipto se estableció un patrón en el año 3000 a. C. Este consistía en que el codo equivalía al codo de un faraón (Mejía Gutiérrez *et al.*, 2007).

Figura 4. Unidades lineales modernas

Fuente: elaboración propia.

Como tal la topografía ha venido creciendo como ciencia a medida que la tecnología ha avanzado. Se cree que inició en Egipto debido a la evidencia de muros y tablas, además de en una exposición de Tales de Mileto y Anaximandro sobre las teorías del pensamiento deductivo de la geometría. En ese sentido, Tales fue el primero en deducir la forma de la tierra y su tamaño a través de medidas basadas en las sombras. Además, fue a partir de estos personajes que se conocieron las observaciones astronómicas mencionadas por Eratóstenes y las primeras cartas geográficas.

Unos años más tarde tuvo lugar en Europa el mejoramiento de los diseños cartográficos por medio de la creación de las cartas planas. Luego, en el siglo VIII se dieron nuevas aplicaciones para la topografía gracias a la invención de la brújula y a los nuevos descubrimientos en astronomía y geografía.

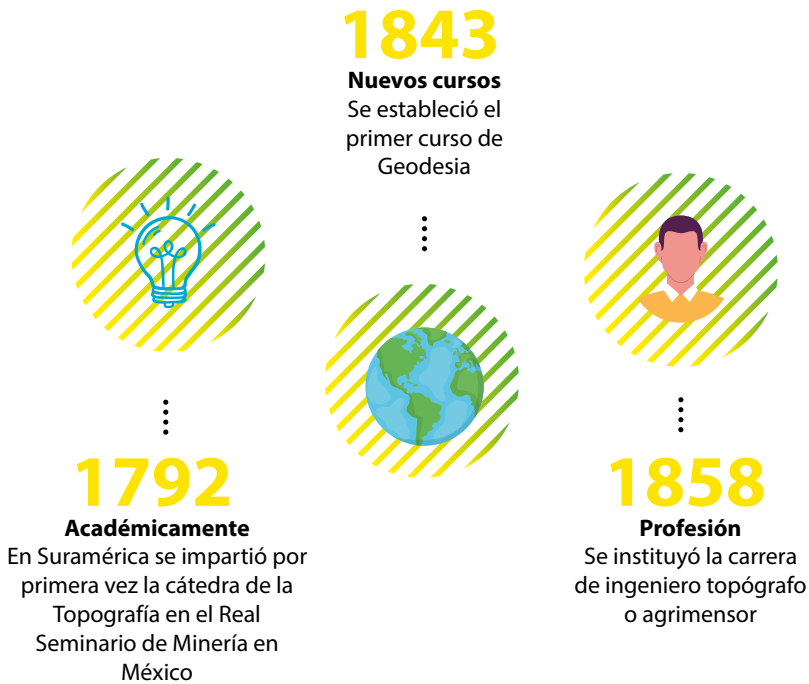
Por otra parte, Eratóstenes creó por primera vez la teoría de los meridianos convergentes y junto con Estrabón y Plinio fueron los inventores de la geografía. Siguiendo sus pasos, el topógrafo griego Ptolomeo elaboró una nueva versión de los planos en el siglo XII d. C.

Ahora bien, con el transcurso del tiempo la topografía adquirió cada vez más un mayor grado de especialización, sobre todo a partir de la representación de la forma real del planeta y al emplear tecnologías más avanzadas como satélites, los relojes atómicos, los sensores remotos, entre otros.

Asimismo, el rayo láser y los últimos desarrollos de la informática han puesto en marcha los sistemas inerciales, el sistema de posicionamiento espacial digitando imágenes de acuerdo con la unión de estos sistemas y la información captada. En lo que respecta al continente americano, la topografía apareció desde el tiempo de la Conquista y tuvo su mayor desarrollo a partir de las investigaciones de Francisco José de Caldas, José Celestino Mutis y Alexander von Humboldt en el actual territorio colombiano.

Más adelante, desde España se delegaron trabajos cartográficos. El reconocido Agustín Codazzi fue el encargado de recorrer todo el territorio de la actual Colombia para obtener un mayor conocimiento en diversos aspectos, incluyendo el geográfico a partir de labores en la forma y medición del terreno. En busca de la representación exacta y real de la tierra varios geógrafos, astrónomos y cartógrafos realizaron labores, contexto que se resume en el origen etimológico de la palabra topografía: *topo* que equivale a “tierra” y *grafos* que significa “dibujo”.

Simultáneamente, el primer presidente de los Estados Unidos, George Washington, fue también uno de los primeros geómetras que desarrolló mediciones de la superficie occidental del estado y de las llanuras al otro extremo en los montes Apalaches a quien se le debe dicha práctica (Navarro Hudiel, 2008).

Figura 5. Evolución de la topografía

Fuente: elaboración propia.

Entretanto, cuando se crearon los primeros caminos y ferrocarriles también inició la ingeniería civil como ciencia y, a medida que pasaron los años, fueron necesarios los auxiliares instrumentistas debido al desarrollo técnico de las actividades repetidas en campo, además de la necesidad de tiempo del ingeniero civil para realizar todos los cálculos manualmente. Todo ello contribuyó a la aparición del llamado topógrafo empírico.

Inicialmente, las universidades carecían de programas académicos de formación para la topografía. Es por esto por lo que toda persona que tenía vocación para ser topógrafo se vio en la obligación de formarse en escuelas internacionales en donde se realizaba una formación a distancia para así adquirir todos los conocimientos teóricos. Es de resaltar que a este tipo de estudios aplicaban la mayoría de las personas que fueron entrenadas por los ingenieros civiles, los que operaban instrumentos o los llamados cadeneros (Navarro Hudiel, 2008).

1.2. La topografía

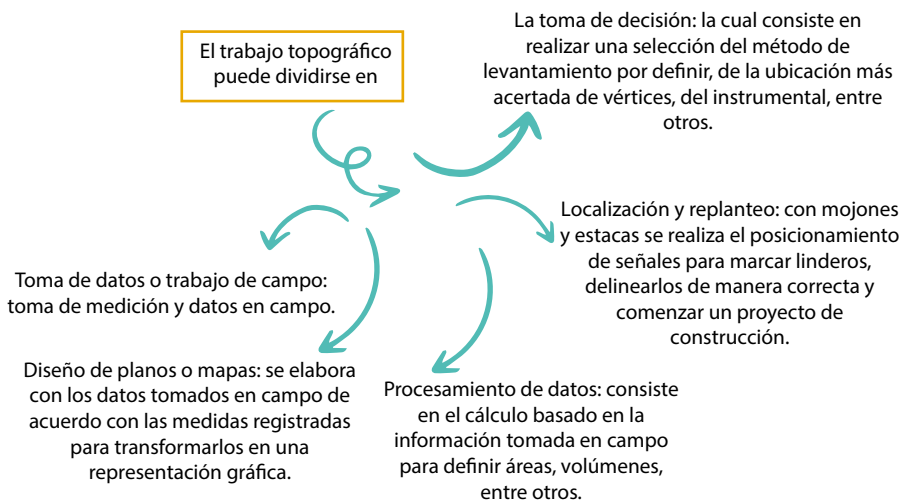
Figura 6. La topografía



Fuente: elaboración propia.

De manera general, la topografía hace referencia al arte de definir posiciones con puntos ubicados sobre y debajo de la superficie de la Tierra. Es considerada la ciencia o disciplina que comprende determinados procesos para recopilar información sobre la representación física de la Tierra. Usualmente, se utilizan los sistemas ordinarios de medición sobre el terreno, aunque los procesos topográficos se derivan también de la evolución de los sistemas modernos de exploración espacial a través de satélites artificiales y topografía aérea, los cuales son de amplio uso hoy en día (Zamarripa Medina, 2010).

Figura 7. Proceso topográfico



Fuente: elaboración propia.

De igual forma, la topografía se puede entender como una ciencia aplicada capaz de definir una posición de acuerdo con una marca sobre el terreno y, además, representada en un plano de este.

Generalmente, es una disciplina constituida por métodos para recopilar información de la representación física de la Tierra, por ejemplo, los litorales, el relieve, las corrientes hídricas, etc., todo ello a partir de la utilización de mediciones por métodos clásicos en la superficie de la Tierra.

1.3. Objetivos de la topografía

En la topografía las funciones más importantes son el trazo y el levantamiento. El trazo, por ejemplo, es un proceso dinámico en el cual se determinan en campo las restricciones establecidas y proyectadas en el plano.

El levantamiento, entretanto, consiste en llevar a cabo unas operaciones requeridas para obtener información en campo que son útiles para generar la representación de la superficie de la Tierra por medio de un diseño de plano (Zamarripa Medina, 2010).

Figura 8. Levantamiento topográfico



Fuente: elaboración propia.

1.4. División en la topografía

La topografía se divide de la siguiente manera:

1.4.1. Planimetría

{	» Levantamientos perimetrales	}	Direcciones. Ángulos. Distancias.
{	» Levantamientos de detallados	}	Radiaciones.

La planimetría consiste en realizar procedimientos como la toma de información en terreno, lo cual permite la proyección de los datos sobre un plano horizontal definiendo la representación y forma del terreno. Es decir, se calcula el perímetro, el contorno y los detalles naturales o que el hombre requiera.

1.4.2. Agrimensura

{ » Agrodesia (división de los terrenos). }

La agrimensura alude a la definición de la superficie de la Tierra de acuerdo con el terreno seleccionado a partir de distintos métodos o procedimientos, gráficos analíticos y mecánicos. Una parte de la agrimensura es la agrodesia (*agros*: campo y *desa*: división), disciplina que se encarga de fraccionar los levantamientos de los terrenos.

1.4.3. Altimetría

{ » Nivelaciones (alturas o cotas y elevaciones). }

La altimetría consiste en determinar la elevación de la cota de cada punto de la superficie terrestre de acuerdo con el plano de referencia que generalmente es el promedio del nivel del mar. Con la altimetría se pueden obtener algunas características del terreno como el relieve, los perfiles, las curvas de nivel, entre otras.

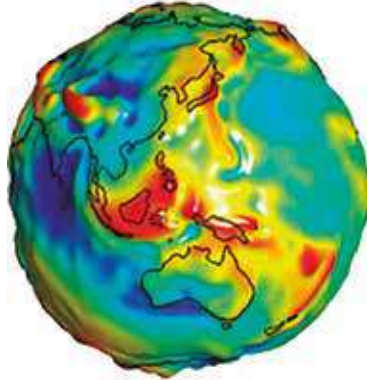
1.4.4. Taquimetría

{ » La altimetría y la planimetría simultáneamente. }

Con la taquimetría se puede determinar al mismo tiempo la altura y la posición del terreno, es decir, se realizan al mismo tiempo los levantamientos de altimetría y planimetría (Zamarripa Medina, 2010).

1.5. Geodesia

Figura 9. Geodesia



Fuente: Dawson (2019).

La geodesia puede definirse como la disciplina o ciencia que estudia las dimensiones y formas de la Tierra. Estas pueden ser obtenidas a partir de la selección de unos puntos distribuidos sobre la superficie del terreno denominados geodésicos y que determinan la forma de los continentes o de un país.

El término geodesia fue usado por primera vez por Aristóteles y puede definirse como el acto de dividir la tierra o como las divisiones geográficas de la tierra entre los dueños de esta. Al respecto, la geodesia consiste en realizar levantamientos de la forma y la representación de la superficie terrestre.

Se diferencia de la topografía, pues esta última realiza levantamientos sobre pequeñas superficies, lo cual desprecia la verdadera forma de la Tierra, es decir, el esferoide y tiene en cuenta el plano horizontal de un área de la Tierra. Por lo demás, en topografía no se tiene en cuenta el error de forma de la superficie debido a que es más pequeño que la longitud de arco (Gómez Morales, 2015).

1.6. Triangulación

La triangulación es aquella que compone y forma un esquema de triángulos que sirve de base para apoyar los métodos topográficos. Debido a que esta es la base del levantamiento topográfico, se deberá garantizar la precisión, de manera que se deben tener en cuenta las precauciones necesarias. Usualmente, la red de triangulación se forma por medio de los métodos del Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS por sus siglas en inglés), el cual permite posicionar diferentes métodos de observación con respecto a la precisión, la exigencia y a la instrumentación. Sin embargo, en ocasiones no es posible disponer de estas técnicas, por lo que se utiliza la topografía clásica.

Precisamente, la topografía clásica se hace por medio de una observación a través del método de vuelta de horizonte y el método de pares sobre la referencia cuando no se requiera mucha precisión (Garrido-Villén, 2015).

1.7. Fotogrametría

Figura 10. Fotogrametría topográfica



Fuente: elaboración propia.

Es la disciplina representada por medio de fotografías aéreas y terrestres del terreno en su totalidad. Es decir, la fotogrametría comprende un levantamiento a partir de datos importantes y mediciones precisas a través de los fotogramas que se han tomado en el terreno, ya sea con cámaras especiales, drones, desde aviones, entre otros y que complementan un trabajo topográfico. Inicialmente, se usa la perspectiva para así proyectar sobre planos que normalmente están a escala detallando cada figura de la imagen. Por lo demás, a la hora de realizar una labor de este tipo la fotogrametría se debe apoyar en la localización de los puntos a través de triangulaciones topográficas y geodésicas que realizan un registro altimétrico y planimétrico. Junto con la fotogrametría podemos encontrar la foto interpretación, utilizada para analizar cualitativamente los terrenos. De igual manera, la fotogrametría aérea es importante para tener proyecciones reales del terreno, las cuales tendrían menor precisión con controles geodésicos y redes primarias (Medina, 2012).

Algunas de las ventajas son:

- » Rapidez en la elaboración del trabajo.

- » La cantidad de detalles y el uso posible en lugares de difícil acceso en el mismo terreno.

Al respecto, la fotogrametría es utilizada para realizar levantamientos topográficos en general con fines militares, construcción de carreteras, para el uso agrícola catastral, puertos, urbanismo, estudio de tránsito, etc. Esta disciplina consiste en la toma de fotografías de alta calidad para utilizar los detalles tanto en perfil como alzado.

Funciones usuales de los levantamientos fotogramétricos:

- » Análisis para la planificación del trabajo con respecto a los planos de los que dispone la zona.
- » Establecimiento de los límites de vuelo.
- » Determinación de la escala de la fotografía.
- » Superposición de las fotografías transversales y longitudinales, así como la altura de vuelo, el tamaño de los negativos, etc.
- » Identificación del terreno.
- » Fijación de puntos de altimetría y planimetría para tener una disposición y ubicación adecuada de los puntos sobrepuestos en la foto.
- » Obtención y crecimiento, numeración y organización de las fotos.
- » Creación y diseño de planos para obtener los resultados y aplicarlos en proyectos.

Hoy en día, también existen tipos de fotogrametría como la satelital o espacial, las cuales establecen la posición de las zonas del terreno por medio de imágenes que arroja el satélite para así realizar las mediciones y el mapeo de grandes extensiones de tierra. Por otro lado, está la fotogrametría inercial y de sensores remotos.

Figura 11. Actualidad de la fotogrametría



Fuente: elaboración propia.

Actualmente, tanto la fotogrametría aérea como terrestre han evolucionado, siendo un método para la topografía y para la cartografía. Ahora bien, para la construcción de proyectos en terreno o para elementos en cartografía y topografía el método fotogramétrico puede ser de la siguiente manera:

- » Foto de objetos: consiste en realizar una planeación previa de vuelo y la toma de fotografías para así procesarlas una vez se realicen.
- » Orientación de figuras: el fotograma deberá situarse en una correcta posición con respecto a sus marcas fiduciales. Además, el fotograma debe estar posicionado con el orden de la toma fotográfica (4Dmetric, 2020).

1.8. Topografía plana

Los levantamientos topográficos planos tienen la misma finalidad de los geodésicos frente a la precisión y magnitud y, por consiguiente, respecto a los métodos utilizados. En ese sentido, consiste en medir terrenos, parcelas o lotes de pequeñas áreas de planos horizontales sin tener en cuenta la curvatura de la Tierra. Gran parte de los levantamientos en los proyectos de construcción son de este tipo, pues debido a su tamaño no se tiene en cuenta la curvatura de la tierra ni el nivel de precisión obtenido.

De igual forma, la topografía plana es un método popular para calcular la composición de un área en la que se considera que la superficie terrestre fija es un plano. Es de anotar que este terreno es mejor para áreas pequeñas, principalmente porque el suelo no es plano. Sin embargo, también se debe destacar que las mediciones de aeronaves sobre un terreno extenso pueden ser inexactas, porque no puede observarse la curvatura natural de la Tierra. En algunos círculos, la inspección terrestre de aeronaves también puede denominarse “inspección aeronáutica”, aunque sea menos utilizado.

Asimismo, y como ya se mencionó, en la topografía plana el terreno de prueba se considera plano. Los topógrafos utilizan una diversidad de herramientas para ubicar puntos en este plano, entre las que se encuentra la tabla de planos. Después, usarán los principios de la geometría plana, el álgebra y la trigonometría para calcular las distancias relativas entre puntos, la densidad de ciertas características del terreno como montañas, así como la profundidad de hendiduras en las montañas y otras depresiones en la tierra. Además, esta puede llamarse también topografía de mesa plana.

Es de resaltar que los cálculos geodésicos son importantes para muchos tipos de proyectos arquitectónicos y construcciones de estudios de ciudades. Así, los topógrafos emplean la ingeniería plana para asegurarse de que los edificios, las carreteras y otros elementos estructurales se construyan sobre suelo sólido y de manera correcta. La topografía exacta también es una de las formas en la que

los bloques de calles modernos suelen tener el mismo tamaño y en la que las calles suelen ser perfectamente paralelas entre sí. Varias unidades de Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) también están programadas con datos recopilados por topógrafos aéreos.

En otro orden de ideas, cabe mencionar que los levantamientos topográficos planos tienen el mismo propósito que los levantamientos geodésicos, pero difieren en tamaño y precisión, por lo que utilizan diferentes métodos. Esta área se encarga de medir parcelas o terrenos y se proyectan pequeñas áreas encima de un plano de forma horizontal ignorando la influencia de la curvatura de la Tierra. La mayoría de las medidas de diseño de ingeniería entran en esta categoría, porque el error en la curvatura de la Tierra es insignificante y no se tiene en cuenta. Además, la precisión obtenida está dentro de un rango aceptable desde un punto de vista práctico.

Los datos presentados en próximos apartados pueden probarse ignorando la curvatura de la Tierra a partir de la utilización de los diferentes principios del área geométrica esférica y trigonométrica.

En conclusión, la forma real de la Tierra solo debe considerarse para mediciones de áreas grandes y requisitos de alta precisión. Sin embargo, al determinar la altitud no se debe descuidar la curvatura de la Tierra, incluso si no se requiere una gran precisión (Equipos y Consumibles de Occidente, s.f.).

CAPÍTULO 2

PRINCIPIOS DE LA TOPOGRAFÍA PLANA

Antes de presentar este capítulo, es de anotar que para comprender la topografía plana es necesario primero abordar dos submaterias de este campo, a saber, la planimetría y la altimetría.

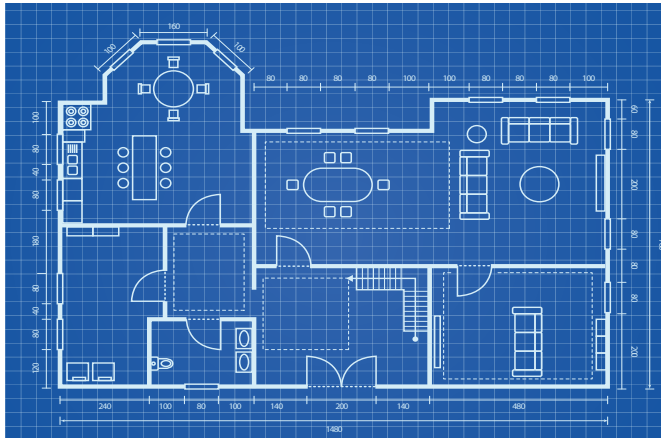
2.1. Conceptos básicos del estudio de una topografía plana

2.1.1. Control horizontal o planimetría

Las medidas previstas tienen en cuenta únicamente el alcance del suelo sobre un plano horizontal imaginario (plano) tomado como la superficie promedio de la Tierra. Esta vista es la base de producción y se tiene en cuenta a la hora de medir distancias horizontales y calcular la planta. Aquí no estamos interesados en la diferencia de elevación relativa entre diferentes puntos en el suelo. Las diferentes situaciones de puntos en la superficie de la Tierra se determinan midiendo los ángulos y las distancias desde los puntos y la línea de proyección sobre un plano horizontal. Por lo demás, el conjunto de líneas que conectan los puntos de vista se denomina línea base y forma la red básica o la columna vertebral de la medición a partir de la cual se pueden referenciar todos los detalles o posiciones de las características artificiales o naturales que son generadores de interés. La correa base se puede abrir y cerrar según las necesidades de la investigación del terreno.

Como resultado del trabajo del levantamiento planimétrico se obtiene un esquema de niveles (generalidades de la topografía).

Figura 12. Planimetría o control horizontal

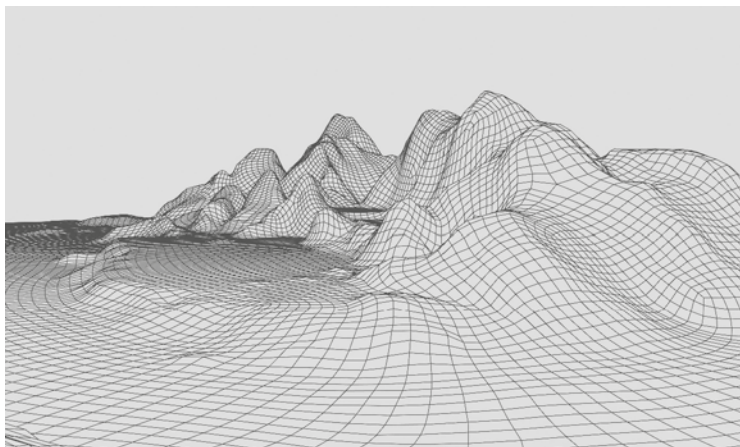


Fuente: elaboración propia.

2.1.2. Control vertical o altimetría

Un alfiler mide los diferentes niveles o elevaciones entre distintos puntos en el suelo, lo que representa la longitud vertical medida en el plano horizontal. La altura o distancia vertical también se puede determinar midiendo la pendiente y la longitud empinada entre punto y punto. Como producto, se logra tener un diagrama vertical.

Figura 13. Control vertical o altimetría



Fuente: elaboración propia.

2.1.3. Simultaneidad de altimetría y planimetría

La unión de dos áreas de terreno plano permite desarrollar o preparar de forma independiente un “mapa topográfico” que muestra la posición en el plano y la elevación de cualquier otro punto del terreno. Las elevaciones o alturas de diferentes puntos en la superficie se representan a través de curvas de nivel, las cuales se conforman de líneas dibujadas manualmente en un plano de planta basado en un mapa horizontal que conecta puntos de la misma elevación. De igual modo, los contornos se utilizan para recrear la configuración del terreno o las características en el dibujo (Rincón Villegas *et al.*, 2017).

2.2. Actividades y procedimientos de la topografía plana

2.2.1. Operaciones y trabajo de campo

Las actividades u operaciones requeridas para realizar levantamientos topográficos son esencialmente dos clases de trabajo: trabajo de oficina y trabajo de campo.

Estos incluyen trabajos realizados directamente en el suelo como:

- » Elección del método de medición, las herramientas y equipos necesarios, su validación y calibración, además de la precisión requerida para realizar los levantamientos.
- » Identificación de las mejores ubicaciones para la base o los vértices de los cables de referencia (abiertos, cerrados o ramificados) que forman el marco o la estructura topográfica.
- » Organización del trabajo y toma de datos necesarios, así como toma de medidas (distancia, altitud, dirección) y registro adecuado en el cuaderno apropiado llamado “archivo de terreno”, ya sea de forma electrónica o manual.
- » Establecimiento y marcación de puntos referentes para la delimitación, plantación de marcadores, límite, punto de control, medición e inspección de la construcción.
- » Medición directa o indirecta de las distancias verticales y horizontales entre objetos y puntos o detalles de la superficie del terreno.
- » Medición de ángulos horizontales (líneas en el suelo) entre rutas.
- » Establecimiento de la dirección de la ruta a partir de una línea de referencia (llamada línea de terreno o meridiano).
- » Medición del ángulo vertical entre dos puntos en el suelo que se encuentran en un plano vertical.
- » Ubicación o replanteamiento de objetos y puntos en el suelo basándose en mediciones de ángulos y distancias previamente conocidas.

Figura 14. Trabajo de campo

Fuente: elaboración propia.

2.2.2. Trabajo de oficina u operaciones de gabinete

Además de las actividades de campo y sobre la base de datos registrados y medidos correctamente, los trabajos de oficina suelen calcular los parámetros descritos a continuación:

- » Coordenadas cartesianas de los puntos.
- » Longitud entre los puntos.
- » Ángulo por medio de dos rutas.
- » La dirección de alineación, la cual se basa en una línea como referencia.
- » Área de parcelas, lotes, franjas, así como el área de una sección transversal.
- » Especificación de masa o volumen de tierra. Altura relativa del punto.
- » Finalmente, planos o dibujos a escala (gráficos o dibujos) de los puntos, características y detalles del estudio del sitio. Los planos pueden ser de relieve, líneas longitudinales, secciones, cortes, rellenos y similares.

Figura 15. Trabajo de oficina

Fuente: elaboración propia.

2.3. Teoría de la topografía plana

La evolución de la tecnología y de la ciencia respecto a las disciplinas topográficas ha derivado en la aparición de diferentes campos de conocimiento relacionados y complementarios lo que, a su vez, ha propiciado la existencia de ingenieros topógrafos, ingenieros geodésicos e ingenieros ópticos.

Estas ramas del conocimiento se enfocan en terreno plano debido a que el objetivo de la mayoría de las mediciones topográficas es calcular áreas, volúmenes, distancias y direcciones, así como presentar mapas topográficos usando las mediciones de campo apropiadas. Por lo demás, los planos son usados como base de la gran parte de los proyectos y obras de ingeniería civil. Por ejemplo, se necesitan levantamientos topográficos antes, durante y después de:

- » La planificación y construcción de vías.
- » Sistemas de transporte público.
- » Puentes.
- » Edificios.
- » Canales.
- » Túneles.
- » Proyectos de conservación de recursos hídricos.
- » Sistemas de drenaje.
- » Represas.
- » División de zonas urbanas y rurales.
- » Además de la construcción de los sistemas de suministro de agua potable.
- » Plantas de tratamiento de aguas residuales.
- » Oleoductos.

- » Gasoductos.
- » Línea eléctrica.
- » Control de fotografía aérea.
- » Demarcación (límites y linderos) de pertenencia pública y privada y otras actividades más relacionados con la geología, la arqueología, la arquitectura del paisaje, etc.

Asimismo, el terreno plano afecta a una porción pequeña de la tierra y utiliza una superficie horizontal plana como punto de referencia, independientemente de su verdadera forma elíptica, es decir, sin tener en cuenta la curvatura de la Tierra. Por lo tanto, la justificación del terreno plano se basa en los siguientes supuestos:

- » La línea que conecta los dos puntos en la superficie terrestre es recta.
- » La dirección de la plomada en dos puntos distintos es paralela (es más, apunta hacia el centro de la Tierra).
- » La superficie de referencia imaginaria para la elevación es una superficie plana, no curva. El ángulo que se forma por la confluencia de dos rectas en la superficie de la Tierra es un ángulo plano, no una esfera (Koenig *et al.*, 2012).

CAPÍTULO 3

TIPOS DE LEVANTAMIENTO EN LA TOPOGRAFÍA PLANA

La topografía es un conjunto de operaciones con las cuales se determina el lugar de un punto en el espacio y su representación en un plano e incluye:

- » Elección del método para levantar información.
- » Elección del dispositivo que se desea usar.
- » Identificación y localización de los puntos de apoyo o posibles vértices.
- » Realización de las mediciones necesarias en campo.
- » Cálculo y procesamiento de los datos.
- » Realización de mapas o planos.

El levantamiento topográfico es la primera etapa de un levantamiento técnicamente descriptivo de un terreno que estudia sus características físicas, geográficas y geológicas, así como sus cambios existentes. Además, reúne los métodos y manipulaciones geodésicas utilizadas para el procesamiento y la transmisión topográfica de datos, lo que permite una representación gráfica más detallada y precisa del plano del sitio en una escala más pequeña resaltando todos los puntos de interés y cambios de la superficie como construcción, excavación, etc. (Márquez, 2017).

Figura 16. Movimientos de tierra

Fuente: elaboración propia.

Además, los levantamientos topográficos planos tienen el mismo propósito que los levantamientos topográficos geodésicos, pero difieren en tamaño y precisión, por lo que utilizan diferentes métodos. Así, el levantamiento topográfico plano se encarga de medir parcelas o terrenos y en este se proyectan pequeñas áreas en un plano horizontal ignorando la influencia de la curvatura de la Tierra. La mayoría de las medidas de diseño de ingeniería se inscriben en esta categoría debido a que el error en el cálculo de la curvatura de la Tierra es insignificante y la precisión obtenida está dentro de un rango aceptable desde un punto de vista conveniente y práctico. Ahora bien, en términos de calidad, las mediciones topográficas pueden ser precisas, periódicas, veloces y rápidas.

» **Exactamente.**

Las mediciones topográficas se realizan utilizando equipos electrónicos y métodos rigurosos de medición y cálculo para establecer límites y ubicaciones precisos, además de para controlar el diseño de grandes proyectos de infraestructura, área residencial o industrial, etc.

» **Regularmente.**

Se crean levantando vigas con vehículos y correas. Se utilizan para ampliar los linderos de la propiedad, controlar trabajos, urbanizar e introducir servicios comunitarios.

» **Estadimétricamente.**

Medición indirecta de la distancia utilizando el tráfico y el rebaño. Estas mediciones se aplican al diseño de la ruta, las características del pueblo, los detalles, el relleno previo y el trabajo de configuración.

» **Rápidamente.**

Se realizan con dispositivos manuales imprecisos como brújulas, podómetros, medidas de distancia de paso, estimación del tamaño de los ojos, etc. Estos estudios se utilizan para trabajos de reconocimiento y exploración.

Cada una de las tres ramas topográficas ha producido, a su vez, áreas de conocimiento muy diferentes, pero complementarias gracias a los avances científicos y tecnológicos en este campo.

En lo que respecta al objetivo principal de los levantamientos topográficos, este consiste en calcular el área, el volumen, la distancia y la dirección, así como presentar las medidas tomadas en un mapa topográfico apropiado (García Márquez, 2003).

Figura 17. Finalidad topográfica



Fuente: elaboración propia.

3.1. Levantamientos generales

Estas mediciones tienen por objeto marcar o ubicar el lindero, medianera o lindero de la propiedad, además de medir y delinear áreas, ubicar el terreno en el plan maestro en relación con las mediciones anteriores o de ingeniería y construcción. Las principales actividades son:

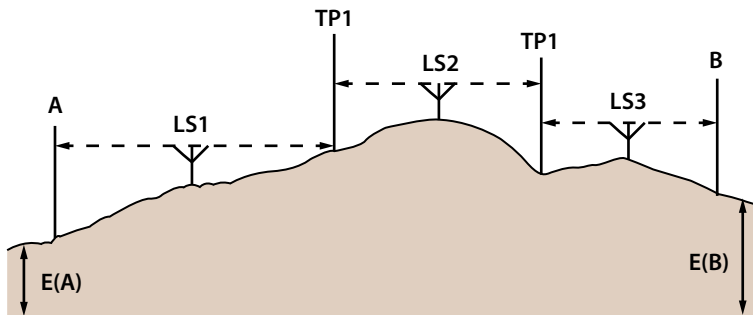
- » Determinación del itinerario y de las medidas transversales a través de un límite existente para encontrar su longitud y dirección.
- » Redefinición de los límites no existentes utilizando toda la información posible y disponible basada en datos anteriores de longitud y dirección.

- » División de la finca en parcelas con formas y características específicas, actividad conocida como partición.
- » Especificación de los límites para asegurar su ubicación y durabilidad.
- » Los puntos de referencia están vinculados en una posición a marcas sólidas en el suelo.
- » Cálculo de las áreas, las direcciones y las distancias, principalmente como resultado de trabajos topográficos.
- » Representación del levantamiento topográfico a través de un plano.
- » Soporte para registro de límites realizados (García Márquez, 2003).

3.2. Levantamiento longitudinal

Son levantamientos utilizados para construir y estudiar vías de comunicación como carreteras, canales, vías férreas, puentes, líneas eléctricas, etc.

Figura 18. Levantamiento longitudinal



Fuente: Levantamientos topográficos (s.f.).

El levantamiento longitudinal funciona de la siguiente manera:

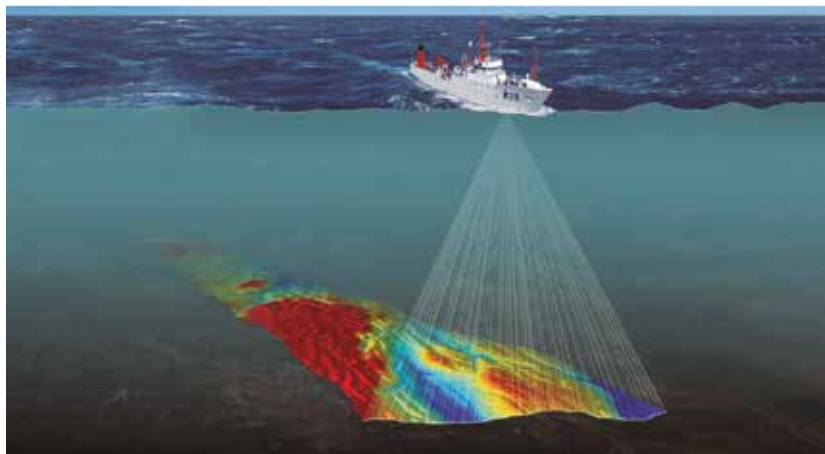
- » Levantamiento topográfico del área de inversión, incluyendo terreno y elevación (medición de terreno y elevación al mismo tiempo) es decir, planimetría y altimetría simultánea.
- » Planificación del eje de vía de acuerdo con los criterios de diseño geométrico del tipo de proyecto.
- » Posicionamiento del eje de diseño a partir de la colocación de estacas muy juntas, generalmente a 5, 10 o 20 metros de distancia.
- » Inclinación o nivelación del eje para definir el perfil topográfico a lo largo del eje del proyecto y ubicación por ruta de nivelación.
- » Perfilamiento y anotaciones de nervaduras longitudinales.

- » Especificación de la sección o el contorno de la pieza de trabajo y la ubicación del chaflán apropiado.
- » Cálculos volumétricos (cúbicos) y planificación del movimiento de tierras o mapeo de calidad (mapas de calidad) para optimizar la excavación y el relleno hasta llegar a la acera.
- » Disposición del diseño y ubicación en relación con los pozos, por ejemplo, puentes, canaletas, desagües, filtros, muros de contención, etc.
- » Ubicación y señalización de carriles o caminos legales a lo largo del eje de construcción.
- » Disposición del diseño y ubicación en relación con las obras como puentes, canaletas, desagües, filtros, muros de contención, etc.
- » Ubicación y señalización de carriles o caminos legales a lo largo del eje de construcción (levantamientos topográficos de nivelación directa).

3.3. Levantamientos hidrográficos

La investigación consiste en determinar los límites de embalses, playas, lagos, ríos y otros cuerpos de agua, además de su estructura e irregularidades (baños) a partir del uso de herramientas geológicas, formas clásicas para determinar medidas planas y electrónica avanzada para la determinación de su profundidad. Los objetivos pueden variar desde delinear playas para uso marítimo público hasta financiar la exploración y el dragado de sedimentos.

Figura 19. Levantamiento hidrográfico



Fuente: EMGEPRON (2020).

Es de anotar que tales estudios implican las actividades necesarias para obtener masas de aguas, líneas de litorales o relieves de fondos de lagos y ríos, ya sean

destinados a la navegación, los embalses, la minería y derivación, la cuantificación de recursos hídricos, etc. Los procedimientos generales se describen a continuación:

- » Realización de levantamientos topográficos de riberas de ríos que limiten el volumen o el caudal de agua.
- » Medición batimétrica con ecosonda para identificar cuál es la profundidad y las características del fondo del agua.
- » Ubicación de puntos de medición de profundidad en el plano del piso, además de observación de ángulos y distancias.
- » Dibujo en un plano del sitio adecuado con terraplenes, presas, profundidades y todos los detalles necesarios.
- » Observación de cambios en las mareas o niveles de agua en lagos y ríos.
- » Medición del caudal de agua, del flujo o del costo (la proporción de agua que fluye por medio de un punto de flujo de agua por cantidad de tiempo).

3.4. Levantamientos urbanos y catastrales

Son los levantamientos que se realizan en municipios, corporaciones y ciudades para determinar límites de propiedad (agricultura, minería, acuicultura, derechos de agua, etc.) o zonas de estudio de áreas urbanas para desarrollar planeamiento, vías y servicios públicos (transporte, abastecimiento de agua, drenaje, teléfono, electricidad, etc.). También son empleados en la investigación de diseño de proyectos de expansión, ampliación y renovación (CIENTEC, 2020).

Figura 20. Levantamiento catastral o urbano



Fuente: elaboración propia.

Uno de los conceptos relacionados con los levantamientos catastrales es el de mapa de población, el cual consiste en una encuesta en la que se maximiza la claridad y el detalle de los vecindarios, las redes de carreteras y el público (carreteras, parques, reservas, etc.) tanto en configuraciones horizontales como verticales. Estos programas son especialmente útiles para proyectos, mejoras y renovaciones en ciudades grandes. Asimismo, este trabajo debe realizarse con gran precisión y con base en puntos de posición conocida, que hayan sido determinados previamente mediante procedimientos topográficos y utilizados como una señal de referencia constante. De igual modo, se debe completar la red de datos para obtener nuevos puntos con ubicaciones conocidas en la planificación por coordenadas y en el plano normal, de elevación u horizontal.

Ahora bien, la agrimensura catastral comprende los trabajos necesarios para la planificación inmobiliaria, así como la determinación de los linderos y superficies de terrenos, cultivos, edificaciones e inmuebles de áreas cubiertas y no urbanizadas. Todo ello fundamentalmente con efectos económicos y especialmente para efectos de valoración (Gómez Morales, 2015).

Por otro lado, es de anotar que los levantamientos catastrales se utilizan para recaudar impuestos sobre la propiedad. Las actividades que componen esta labor son las siguientes:

- » Construcción de una red de marcas de apoyo, incluyendo medidas de planta y altura.
- » Terminación de la misma red con la mayor cantidad de puntos con el fin de obtener un plano detallado.
- » Alusión de algunos puntos específicos como las esquinas de las calles, las cuales tienen marcadores apropiados referidos a un solo sistema de coordenadas cartesianas.
- » Preparación de un mapa de población detallado que muestre la ubicación y el tamaño de cada vivienda.
- » Organización y preparación de un plano de planta.
- » Dibujo de uno o más planos de planta en donde se vea la red de distribución de los distintos servicios (tuberías, conductos, líneas telefónicas, etc.).

3.5. Levantamientos de minas

El propósito de estos estudios consiste en identificar y controlar la ubicación de las estructuras subterráneas necesarias para la extracción de recursos minerales y vincularlas a las estructuras superficiales.

Figura 21. Levantamiento de minas

Fuente: elaboración propia.

Las siguientes son actividades relacionadas con el levantamiento de minas:

- » Fijación de límites legales y marcación de concesiones en el terreno.
- » Inventario del área de la concesión y elaboración del plano topográfico correspondiente.
- » Ubicación superficial de pozos, tajos, perforaciones exploratorias, plantas trituradoras de minerales y agregados, vías férreas y detalle de otras características de estas operaciones.
- » Realización de las investigaciones subterráneas necesarias para determinar la ubicación de todas las galerías o túneles.
- » Dibujo de una vista de los componentes de la urbanización sobre los que aparece la biblioteca a lo largo y en sección transversal.
- » Creación de mapas geológicos para identificar con precisión formaciones rocosas y otros eventos geológicos.
- » Extracción de bloques de suelo y minerales del proceso de minería (Gómez Morales, 2015).

CAPÍTULO 4

ERRORES EN LAS MEDICIONES DE LA TOPOGRAFÍA PLANA

Todas las operaciones de campo se ven afectadas por desperfectos en los equipos, herramientas o componentes, capacidades del operador y condiciones climáticas, de manera que ninguna medición de campo es precisa en este sentido. No obstante, error no debe confundirse con equivocación, pues si bien los errores están casi siempre presentes en las diferentes mediciones debido a las limitaciones mencionadas anteriormente, puede haber errores graves por causa del descuido, la distracción, la fatiga o la falta de conocimiento. Los errores son causados por el hombre, pero se deben minimizar o eliminar en el terreno con el fin de evitar la duplicación del trabajo y, por el contrario, aumentar la productividad, además de ahorrar tiempo y costos.

De esta forma, es imperativo entender el alcance y la naturaleza de los errores que pueden ocurrir y cómo se difunden para tratar de disminuirlos a un nivel razonablemente realista sin que ocurran eventos dañinos. El error debe estar por debajo de un margen aceptable, permisible o tolerable para garantizar un resultado y cumplir con un cierto nivel de precisión (Rodríguez Reategui, s.f.).

Figura 22. Identificación de errores y la búsqueda de cómo minimizarlos



Fuente: elaboración propia.

Cabe aclarar que no existe un orden de magnitud que pueda medirse con precisión. No importa cuán perfectos sean los procesos y el equipo utilizado, hay un error en cada medición realizada. Es por esto por lo que al considerar cualquier cantidad debemos distinguir entre tres valores: el valor verdadero, el valor observado y el valor más probable.

El verdadero valor de una magnitud es el que está libre de cualquier error; por la misma razón, siempre es irreconocible. Entretanto, los resultados de observación conforman el llamado valor observado, el cual consiste en la prueba realizada después de que se hayan hecho todas las calibraciones del equipo y los medios de trabajo. Lo más probable es que el valor de una cantidad sea el más cercano al valor real según las observaciones realizadas o las medidas tomadas. Ahora bien, cuando se trata de medir es importante distinguir entre precisión y exactitud.

Así, la exactitud se refiere a la aproximación de los hechos o al grado de consistencia con una muestra. Por otro lado, la precisión es el nivel de refinamiento con el que se lee una medida o un cálculo, también definida como la precisión con la que se realiza un cálculo o se notifica un resultado (Rodríguez Reategui, s.f.).

De acuerdo con lo anterior, el error es la desigualdad entre el valor de campo calculado y el valor de amplitud real. Las causas de los errores se pueden dividir en tres categorías:

- » **Condiciones ambientales:** debido a cambios en las condiciones ambientales como viento, temperatura, etc.

Figura 23. Condiciones climáticas

Fuente: elaboración propia.

- » **Capacidad de herramientas:** causado por problemas como un mal diseño o ajuste del equipo. Además de las técnicas de observación específicas, la mayoría de las fallas de los instrumentos se pueden reducir mediante el uso de técnicas de verificación/calibración, rectificación y clasificación. Por ejemplo, es posible que las líneas de graduación de la escala no estén perfectamente colocadas o que estén dobladas.

Figura 24. Discusión de problemas en la construcción

Fuente: elaboración propia.

- » **Personal:** esto se debe principalmente a la limitación del sentido humano como el oído, la vista y el tacto. Por ejemplo, cuando la línea de visión vertical de un teodolito no está perfectamente alineada con el objetivo habrá un ligero error al medir el ángulo horizontal. También se refiere a los daños causados por humanos como falta de atención, fatiga, etc. durante la medición (Todo Ingeniería Industrial, s.f.).

Figura 25. Problemas personales



Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, las fallas causadas por los tres factores anteriores se pueden clasificar en:

- **Grave error**
 - » Señales de suelo confusas.
 - » Error de lectura.
 - » Error de dato anotado.
 - » Error aritmético al sumar espacios parciales.
- **Error del sistema**
 - » Pendiente.
 - » Grado.
 - » Temperatura.
 - » Tensión.
 - » Red.

- **Error al azar**
 - » Pendiente.
 - » Temperatura.
 - » Tensión.
 - » Red.
 - » Trazado.
 - » Marcación vertical.

4.1. Graves errores

Son el resultado del déficit sensorial del observador o de la tendencia a estar distraído o ansioso mientras observa.

Son causados por errores de medición, errores de lectura del instrumento, reconocimiento de objetivos, etc., generalmente debido a observadores distraídos o al mal funcionamiento del equipo. Por esta razón, es de vital importancia rodearse cuidadosamente de observadores para evitar este tipo de errores o detectar su presencia. Leer una y otra vez es una forma de evitar estos errores graves.

Figura 26. Errores graves



Fuente: elaboración propia.

Algunos ejemplos de errores graves:

- » Error al escribir 196 en vez de 169.
- » Establecer número de fraude al medir la distancia con trampas.

Se puede decir que los errores de este tipo son cometidos por personas al medir y registrar datos equívocos. No se consideran aceptables, ya que representan cambios

significativos de las dimensiones reales y pueden evitarse fácilmente, por lo que es necesario realizar pruebas y verificaciones.

Ejemplo de error fatal o grave:

- » Error de lectura.
- » Error de escritura de dato.
- » Error al agregar una parte de distancia incorrecta.

4.2. Errores sistemáticos

Son datos que se presentan con el mismo valor y orientación cuando se hacen observaciones de la misma proporción en las mismas restricciones.

Además, son errores cuya magnitud y signo algebraico pueden ser determinados por las leyes de las matemáticas o la física. Dado que se deben a causas conocidas, pueden evitarse con técnicas de observación específicas o incluso eliminarse con formulaciones concretas. Permanecen constantes en condiciones de operación de campo y, por lo tanto, se acumulan, como cuando se miden ángulos con un teodolito graduado cuando se tira de la escala.

Esto se debe al uso de un método incorrecto, un dispositivo defectuoso (sin calibración) o su uso en condiciones (ambientales) imprevistas, así como diferencias en las medidas independientemente de la calidad del trabajo. Es el producto de actuar sobre resultados de la misma cantidad y del mismo signo (positivo o negativo) en las mismas condiciones.

Figura 27. Errores sistemáticos



Fuente: elaboración propia.

Esta clase de errores se repiten con todo tipo de mediciones y en la mayoría de los casos, pueden ser el resultado de un error del operador o falla del equipo. En todos los casos se deben aplicar los métodos apropiados para evitar este tipo de equivocación. Su valor es acumulativo y no se puede ajustar.

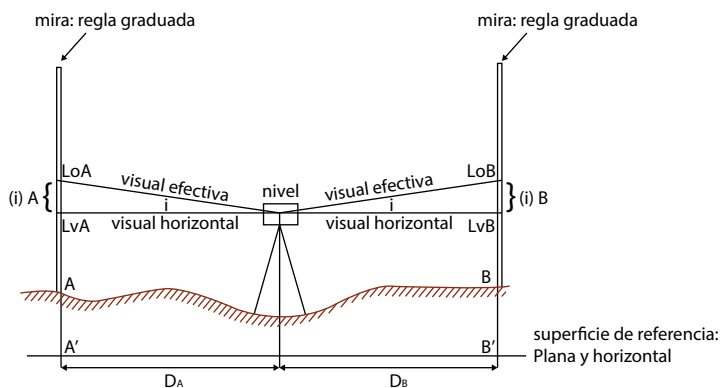
Por otra parte, cabe destacar que los errores sistemáticos se eliminarán en la medida de lo posible tomándolos en cuenta en los cálculos o aplicando métodos de medición adecuados e instrumentos calibrados además de considerarlos en relación con las condiciones durante la producción.

Un ejemplo de un error del sistema que se puede corregir con una determinada fórmula:

- » Consecuencia de los grados de temperatura y la presión en la medición de distancias por telémetro electrónico.
- » Corrección por el efecto de dilatación del vaso en función de la temperatura.

El error sistemático puede ser constante o variable: la constante mantiene el valor del error durante la medición y las variables son los valores que cambian durante el cálculo de medidas. Por ejemplo, un error sistemático permanente es el causado por la inclinación horizontal (i = ángulo que forma el eje de colimación del instrumento con el plano horizontal) que es un ángulo constante cuyo efecto en la observación de la barra se mide dado por la fórmula $(i) = \tan D$. En este caso, tratamos el error del sistema angular y el efecto en la lectura es lineal. Por lo demás, el efecto de este tipo de error en las mediciones depende del valor del ángulo del error y de la longitud a la que se encuentre la línea de visión. Por tal motivo, siempre es necesario determinar la diferencia entre los errores, las herramientas comunes y el efecto que tiene el error en las observaciones (Topografía 2, 2020).

Figura 28. Diferencia entre errores



Fuente: Videla (s.f.).

Donde:

L_v = lectura verdadera,

L_o = lectura observada,

A'/B' = proyección del punto A/B sobre el plano horizontal.

Por ejemplo: un error sistemático variado se da con la expansión de las bandas de metal cuando se exponen a diferentes temperaturas. Las temperaturas en el hielo pueden variar dentro de la misma medida según la hora del día y la exposición a la luz solar. Por eso, el error debido a la contracción o estiramiento de la banda varía con la temperatura de la banda al momento de la medición (Topografía 2, 2020).

Otros ejemplos de errores sistemáticos están representados en una cinta métrica que no comienza en 0 m (error de instrumentación), que pesa más de 1 kg (error de instrumentación); desviación de la línea de visión al pasar a través de capas de diferentes densidades dentro de la atmósfera (error de corrección), medir las dimensiones lineales de la sección sin compensación (error de método), etc.

Entretanto, los errores sistemáticos, según su origen, se pueden abordar de tres maneras:

- » Una vez cuantificado el error y conocido su efecto en la medida, se puede corregir.
- » Calibración del dispositivo.
- » Uso del método operativo para eliminar el efecto del error en la estimación.

Asimismo, los errores del sistema pueden ocurrir durante la recopilación de datos GPS por las siguientes razones:

Dependencia del satélite:

Figura 29. Satélite

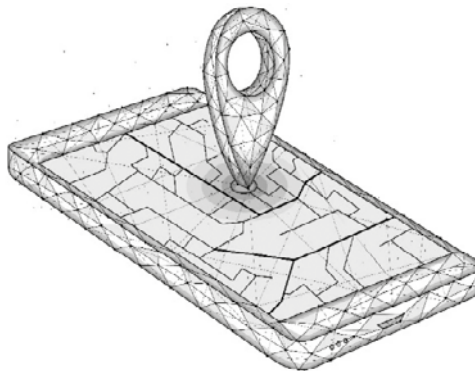


Fuente: elaboración propia.

- » Error de efemérides: es la diferencia entre la posición real del satélite y los datos que tenemos.
- » Error de reloj satélite: este error y su variación se calculan en el mismo proceso de determinación de la posición monitoreando continuamente el segmento de control.
- » Disponibilidad selectiva: manipulación intencional de señales satelitales para ubicaciones de GPS inexactas por razones tácticas, siendo el mecanismo principal la inestabilidad sistemática del reloj o errores en los datos o su posición.

Dependencia del receptor:

Figura 30. Receptor GPS



Fuente: elaboración propia.

- » Error de reloj del receptor: todos los receptores GPS, debido a su costo, están equipados con osciladores de cristal que también son muy estables, muy pequeños y de bajo consumo. La estabilidad del período producido por el oscilador depende de la calidad de este.
- » Coordenadas incorrectas del ancla o de la estación de referencia: las técnicas diferenciales requieren conocer las coordenadas de uno de los puntos y mantenerlas constantes durante los cálculos. Los errores en las ternas asignadas a estaciones base o puntos de anclaje se traducen en errores en la búsqueda de soluciones a puntos de coordenadas desconocidos.

Dependencias de propagación:

Figura 31. Propagación



Fuente: elaboración propia.

- » Retardo ionosférico: la radiación ultravioleta solar causa la ionización. La presencia de electrones libres en esta clase afecta la velocidad, la dirección y la polarización de las señales emitidas por los satélites a través de él. Para minimizar sus consecuencias, el mejor reemplazo es tener receptores de frecuencia dual (L1 y L2), lo que permite crear combinaciones lineales libres de los efectos de la ionósfera. En general, el retraso de la ionósfera es el mínimo en el cenit y aproximadamente tres veces cerca del horizonte, el día máximo y menor que cinco veces.
- » Retraso tropical: en la tropósfera todos los tipos de fenómenos meteorológicos influyen en la propagación de las señales de GPS, pues esta depende del contenido de agua, la temperatura y la presión de los pares presentes a lo largo de las rutas que le permiten simular. No pueden minimizarse mediante observaciones de doble frecuencia. Al igual que con la histéresis ionosférica, los efectos en ambos polos son prácticamente los mismos y pueden compensarse utilizando una línea de base corta (Alcántara García, 2014).

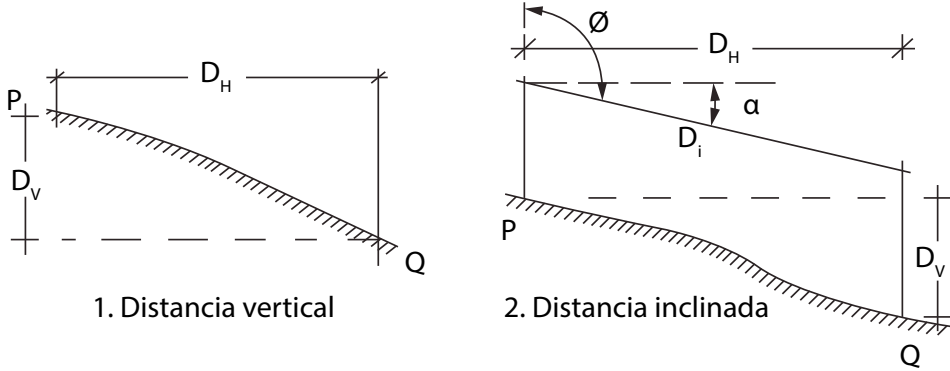
4.3. Corrección de errores sistemáticos

La distancia del terreno es la distancia proyectada en el plano horizontal.

Durante la medición, según el tipo de terreno y la longitud del segmento de medición, es posible medir la distancia directamente en el plano o en el plano oblicuo paralelo a la superficie.

Para medir distancias horizontales directamente, se debe usar el nivel de Locke o de mano para verificar el nivel de la cinta métrica.

Figura 32. Distancia horizontal y distancia inclinada



Fuente: Casanova (2002).

Por otra parte, si se está midiendo la distancia de la pendiente, se debe medir la pendiente o la longitud vertical (inclinación) entre puntos para realizar el cálculo de la distancia horizontal (Alcántara García, 2014).

La distancia horizontal se puede medir de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 D_H &= D_i \cos \alpha \\
 D_H &= D_i \operatorname{sen} \phi \\
 D_H &= \sqrt{D_i^2 - D_v^2}
 \end{aligned}
 \quad \text{Ecuación 1.}$$

Donde:

D_i = distancia inclinada.

D_H = distancia horizontal.

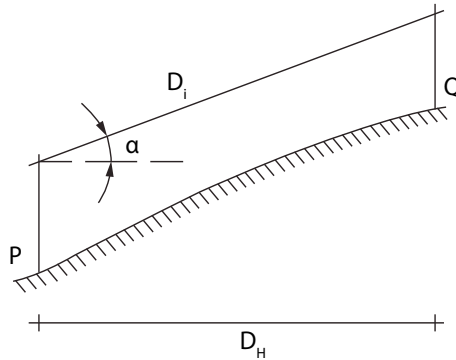
ϕ = ángulo cenital.

α = ángulo de inclinación de la cinta.

D_v = distancia vertical o desnivel.

Ejemplo 1.

Realizar el cálculo de la distancia horizontal entre los puntos P y Q de la Figura 33:

Figura 33. Cálculo de la distancia entre los puntos P y Q

Fuente: Casanova (2002).

$$\alpha = 4^{\circ}20'$$

$$D_i = 25,517 \text{ m}$$

Desarrollo:

Se aplica la ecuación

$$D_H = 25,517 \times \cos(4^{\circ}20') = 25,444 \text{ m}$$

$$D_H = 25,444 \text{ m}$$

Corrección por graduación

La longitud nominal u original de la cinta no se desplazará de la longitud actual por diversas razones, entre ellas la calidad de la cinta, el espaciado de las marcas, el paso incorrecto o simplemente porque la cinta se haya usado o la corrección cause errores en la medición de la distancia.

Para corregir estos errores, es necesario comparar correas con distancias estándar y tomar medidas precisas basadas en longitudes iguales y menores que la longitud de la correa según las condiciones normales especificadas por el fabricante.

Por otra parte, la longitud real de la correa puede llegar a ser menor o mayor que el valor nominal de esta, por lo tanto, en las operaciones de medición de distancias de campo la modificación puede ser respectivamente positiva (+) o negativa (-). Ahora bien, en el replanteo con cinta no estándar el signo de corrección está opuesto a la marca de mediciones.

La corrección por graduación se calcula a través de una ecuación lineal:

$$C_g = \frac{la - ln}{ln} * D$$

Ecuación 2 (Casanova, 2002).

$$D_c = D \pm C_g$$

Donde:

La = longitud actual de la cinta.

Cg = corrección por graduación.

D = distancia medida.

Ln = longitud nominal de la cinta.

Dc = distancia corregida.

Ejemplo 2.

En campo se realizó una operación en donde se midió una longitud de 190,147 m con cinta metálica de 28 m. La cinta se comparó anticipadamente con una base, arrojando una longitud real de 28,001 m.

Calcular la corrección por graduación (Cg) y distancia corregida.

Desarrollo:

Se aplica la Ecuación 2 (Casanova, 2002):

$$C_g = \frac{28,005 - 28.000}{28.000} \times 190,147 = +0,0339 \text{ m}$$

$$C_g = +0,0339 \text{ m}$$

$$D_c = 190,147 + 0,0339 = 190,181 \text{ m}$$

$$D_c = 190,181 \text{ m}$$

Corrección por temperatura

Para empezar, es necesario recordar que, de acuerdo con las lecciones de física, los materiales sufren cambios dimensionales bajo la influencia de los cambios de temperatura.

La dilatación lineal se define como el cambio en la longitud de un objeto a medida que cambia su temperatura.

El cambio lineal es proporcional a la longitud inicial y al cambio de temperatura.

$$\Delta l = \alpha \cdot L \cdot \Delta t \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

Δl = variación lineal (corrección temperatura).

L = longitud de la medida

Δt = variación de la temperatura °C

α = coeficiente de dilatación lineal (variación de la longitud por unidad de longitud para un Δt igual a un grado) (Casanova, 2002).

El acero $\alpha = 1,2 \times 10^{-5} \text{°C}^{-1}$.

Cinta de acero estandarizada por el fabricante para la medida de longitud.

Temperatura de calibración nominal: normalmente 20 °C.

Generalmente, cuando se miden longitudes la temperatura a la que se le hace la medición es diferente a la temperatura de calibración, por lo que se requiere una corrección de temperatura.

A continuación, se aplica la ecuación

$$C_t = \alpha \cdot (t - t_c) \cdot L \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

C_t = corrección por temperatura en m.

t_c = temperatura de calibración en °C.

t = temperatura de la cinta en el momento de la medición.

Ejemplo 3.

Calcular la corrección de temperatura que se aplica a una longitud de 46,578 m con una temperatura de cinta al momento de realizar la medida de 30 °C (Casanova, 2002).

Calcular la distancia real

Desarrollo:

Aplicación de la Ecuación 4

Para el acero $\alpha = 1,2 \times 10^{-5} \text{°C}^{-1}$

$$C_t = 1,2 \times 10^{-5} (30 - 20) \times 46,578 + 0,005 \text{ m}$$

$$C_t = +0,005 \text{ m}$$

$$D_r = 46,578 + 0,005 - 46,583 \text{ m}$$

Corrección por tensión

Cuando una cinta de acero se somete a una tensión diferente de la tensión calibrada se alargará o se acortará dependiendo de si la tensión es mayor o menor que la tensión calibrada (Casanova, 2002).

El cambio en la longitud de la banda en presencia de una tensión diferente a la tensión calibrada se puede calcular utilizando la ley de Hooke, que se muestra por la Ecuación 5:

$$C_T = \frac{(T - T_c)}{AE} * L \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

T_c = tensión de calibración en kg.

T = tensión aplicada a la cinta al momento de la medición en kg.

A = área de la sección transversal en cm^2 .

L = longitud de la medida en m.

E = módulo de elasticidad de Young. Para el acero $E = 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$.

Ejemplo 4.

Calcular la corrección por tensión aplicada a una distancia L : 38,6 m con una cinta calibrada para una tensión de 5,1 kg y una sección transversal A : $0,030 \text{ m}^2$ al aplicar una T : 7 kg al momento de medirla (Casanova, 2002).

Desarrollo:

Se aplica la Ecuación 5.

$$C_T = \frac{(7 - 5,1) \times 38,6}{0,030 \times 2,1 \times 10^6} = +0,0012 \text{ m}$$

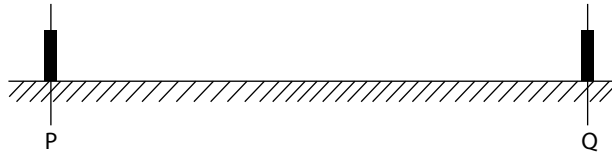
$$C_T = +0,0012 \text{ m}$$

Distancia real:

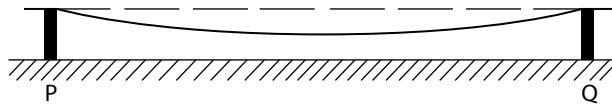
$$D_R = 38,6 + 0,0012 = 38,60 \text{ m}$$

$$D_R = 38,6 \text{ m}$$

El error de tensión solamente se tiene en cuenta para aquellas mediciones de alta precisión, ya que debido al pequeño tamaño es complejo aplicar tensiones muy superiores a las tensiones de calibración.

Figura 34. Error de tensión

a. Cinta apoyada en toda su longitud



b. Cinta apoyada en sus extremos

Fuente: Casanova (2002).

Al observar esto, es posible saber que medir la distancia con la correa apoyada solo en el extremo dará un valor de error mayor que cuando se mide con la correa completamente estirada debido a que la longitud de arco es mayor a la de la cuerda.

Para calcular la corrección por catenaria se aplica la siguiente ecuación (Casanova, 2002):

$$C_T = \frac{-w^2 L^3}{24T^2} \quad \text{Ecuación 6}$$

En donde:

C_c = corrección por catenaria.

w = peso de la cinta por unidad de longitud en kg/m.

L = longitud de la medida en m.

T = tensión aplicada a la cinta en el momento de la medida en kg.

Muchas personas calculan la tensión que se debe aplicar al realizar mediciones para así compensar aquellos errores de tensión y de la línea aérea. Esas tensiones se denominan tensión normal (T_n).

Ejemplo 5.

Cómo hacer el cálculo de la tensión normal aplicada a una cinta de acero, la cual se debe medir con una longitud L : 40,95 m en donde esa tensión de calibración es de T_c : 4,2 kg, W : 0,014 kg/ml y A : 0,019 cm² (Casanova, 2002).

Desarrollo:

Se aplican las ecuaciones 5 y 6.

$$C_T + C_C = 0$$

$$\frac{(T - T_C)L}{AE} - \frac{-w^2L^3}{24T^2} = 0$$

Resolviendo $T = T_n$ despejamos

$$T_n = wL * \sqrt{\frac{AE}{24(T_N - T_C)}}$$

Reemplazando los valores y desarrollando por iteraciones, encontramos que $T_n \cong 11,24$ kg.

4.4. Errores aleatorios o accidentales

Se trata de un error en el sentido técnico, es decir, son incertidumbres en las que los resultados obtenidos no son consistentes con la cuarta propiedad de la medida por diversas razones impredecibles y que son difíciles de controlar.

Por lo demás, los errores aleatorios intervienen de manera desigual y varían en tamaño y patrón de una observación a otra.

Este tipo de errores aparecen después de que se hayan eliminado los errores anteriores y son el resultado combinado de la gran mayoría de las posibles causas. De igual modo, no responden a la ley permanente y completamente ineludible. Es más probable que este tipo de errores ocurran, pero se compensan parcialmente cuando el valor de las mediciones es bastante considerable.

De otro lado, los errores inesperados parecen ser el resultado de la casualidad y, por lo tanto, se denominan errores aleatorios. Pueden ser causados por la acumulación de muchas anomalías sistemáticas o por cambios muy pequeños e incontrolados en las condiciones observadas. Esto significa que estos errores se deben a irregularidades en la atmósfera en el momento de la medición, pequeños defectos en nuestros sentidos o problemas inevitables en el diseño del dispositivo. Si bien los errores aleatorios no pueden evitarse, pueden considerarse compensables.

Son indiferentes en un sentido u otro y no son controlados por el observador, es decir, el valor medido puede ser mayor o menor que el valor real. Además, los errores pueden ser igualmente causados por exceso o por deficiencia (positivo o negativo). Los errores aleatorios pueden ocurrir a partir de los siguientes aspectos:

- » Estimación de fracciones de lecturas de ángulos en términos de vernieres o nonios.
- » Señales excéntricas debido a oscilaciones longitudinales.
- » Interpolación de medidas de distancia.
- » Colocación de marcadores en el suelo, etc.

Figura 35. Errores accidentales



Fuente: elaboración propia.

Gran parte de estos errores se descartan en tanto pueden ser compensados siendo más cuidadosos en las mediciones e incrementando el número de reiteraciones de una misma medida. Incluso, después de corregir los errores del sistema los errores aleatorios pueden persistir.

Se pueden dividir en:

- **Instrumental:**
 - » Error perpendicular.
 - » Dirección incorrecta.
 - » Error de puntería.
 - » Error de lectura.
- **De la percepción:**
 - » Apariencia.
 - » Calina.
 - » Bruma.

Refracción

El impacto de todos estos errores puede reducirse preocupándose solo por algunos, ya que los objetivos son insignificantes exceptuando el trabajo de precisión. En cualquier caso, pueden disminuirse mediante métodos de autocolimación, una lectura por medio de una herramienta de evaluación que es más precisa de lo requerido. Así, se usa una dirección de señal de orientación constante, mientras que el observador debe detenerse sin trípode en el punto donde se requiere alineación. También debe ser tenido en cuenta el hecho de que se note la niebla y que el sol esté de espaldas al observador. Por lo tanto, es preferible esperar a que desaparezcan o intentar un efecto visual corto. Finalmente, el riesgo de refracción se puede reducir analizando las condiciones meteorológicas que pueden afectar la visibilidad o trabajando de noche (Estruch Serra y Tapia Gómez, 2003).

Características de los errores inesperados o aleatorios:

- » Los errores pequeños son más comunes y probables que los errores grandes.
- » Los errores negativos y positivos de la misma magnitud ocurren con la misma frecuencia o pueden ocurrir igualmente.
- » La media de los residuos es aproximadamente 0.
- » Una vez va en aumento el número de observaciones, se incrementa la probabilidad de acercarse al valor real.

Ejemplos de errores inesperados o accidentales:

- » Inclinación de la baliza durante la medición.
- » Error de puntería al leer la orientación horizontal.
- » Apremiar los errores (leer en una escala).
- » Errores por cambios de temperatura en el lugar de trabajo.
- » Fallas por viento.
- » Asentamiento trípode (superficie blanda).
- » Sin especificar (cuando la línea se carga verticalmente con plomada).
- » Error de manejo de cinta.

También puede haber un error en la recopilación de datos del GPS que puede depender de lo siguiente:

- » Multitrayecto: las ondas GPS sí siguen una trayectoria lineal, pero tienen la propiedad de rebotar accidentalmente en superficies cercanas a la antena como objetos metálicos, edificios, masas de agua, etc. La señal que ingresa a la antena es la suma de la ruta del satélite reflejada más la ruta de la antena reflejada.

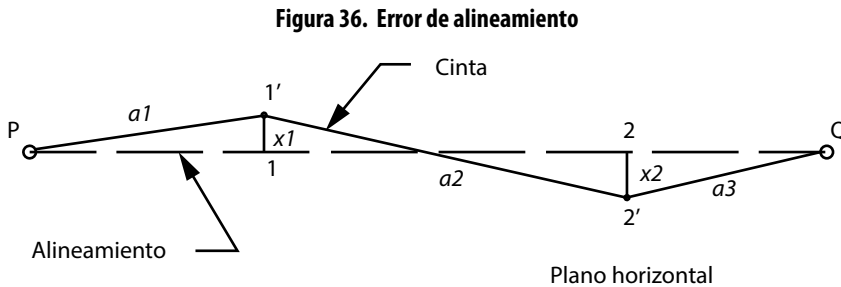
- » Desplazamiento del centro de fase de la antena: el centro de fase de la antena es el punto físico desde el que se observa la señal, el punto de referencia de la medida y no siempre se alinea con su centro estructural. Este es el mínimo indispensable para una antena bien diseñada.

Corrección de errores aleatorios

- **Alineamiento**

Cuando la distancia de la longitud de medida sea más grande que la distancia de la cinta métrica que se dispone se trazará en el lugar una línea recta y una fracción menor o igual a la magnitud de la cinta métrica. Si esta alineación se realiza a simple vista utilizando únicamente las estacas, puede dar lugar a un error de alineación que afecte a la medida final (Estruch Serra y Tapia Gómez, 2003).

En la Figura 36 se observa el error de alineación en la medida de la longitud PQ donde a_1 , a_2 y a_3 son longitudes parciales y la x_1 , x_2 representan los desplazamientos del punto 1 y 2.



Fuente: Porta Inga (2017).

La distancia medida entre P y Q es:

$$D'_{PQ} = a_1 + a_2 + a_3$$

La distancia real entre PQ es:

$$D_{PQ} = D_{P1} + D_{12} + D_{2Q}$$

Después, el error de alineamiento

$$E_p = D'_{PQ} - D_{PQ}$$

Como se puede ver, el error de alineamiento usualmente siempre es positivo, al contrario de la corrección, que debe ser negativa.

Ejemplo 6.

Si en la Figura 36 se tuviera:

$$\begin{aligned} a_1 = a_2 &= 30 \text{ m} & x_1 &= 18 \text{ cm} \\ a_3 &= 26,542 \text{ m} & x_2 &= 15 \text{ cm} \end{aligned}$$

Desarrollo

$$D'_{PQ} = 30 + 30 + 26,542 \text{ m}$$

Por Pitágoras

$$D'_{P-1} = \sqrt{a_1^2 - x_1^2} = \sqrt{30^2 - 0,18^2} = 29,999$$

$$D'_{1-2} = \sqrt{a_1^2 - (x_1 - x_2)^2} = \sqrt{30^2 - 0,33^2} = 29,998$$

$$D'_{2-Q} = \sqrt{a_3^2 - x_2^2} = \sqrt{26,542^2 - 0,15^2} = 26,542$$

$$D_{P-Q} = 86,539$$

$$E_p = 0,003 \text{ m}$$

Se puede observar que el error por alineamiento es de tamaño pequeño y en procedimientos de mayor precisión se puede eludir trazando los lineamientos con el apoyo de un teodolito.

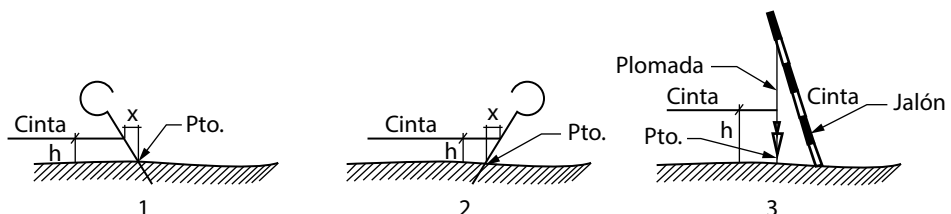
Error por verticalidad

Esto es un error en tanto el punto de tierra no se proyecta verticalmente sobre el cinturón en la posición horizontal.

Como se observa en las Figura 37, este error puede ser negativo o positivo, lo cual depende de la pendiente, de la altura (h) y de la señal a la que se hace la medición. El tamaño del error puede ser significativo.

Como se muestra, el error vertical se elimina con las plomadas y jalónes.

Figura 37. Error vertical



CAPÍTULO 5

UNIDADES DE MEDIDA EN LA TOPOGRAFÍA PLANA

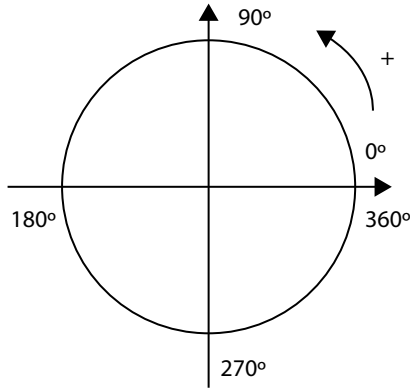
Al medir planos y alturas, además de áreas y volúmenes, es necesario medir ángulos y distancias, por lo que es necesario conocer las unidades más utilizadas para este tipo de operaciones.

5.1. Unidades de medidas angulares

Existen unos sistemas que sirven para medir ángulos: decimal, porcentaje y radianes.

Graduado sexagesimal

En el grado sexagesimal el círculo se divide en 360 secciones idénticas denominadas grados, las cuales están dispuestas en cuatro secciones de 90 grados. A su vez, cada grado se divide en 60 minutos, por lo tanto, 60 segundos por minuto. Entretanto, los arcos se medirán de acuerdo con el número de grados, minutos y segundos que contengan y las partes superior y derecha de los números respectivamente. Por ejemplo: $76^{\circ} 43' 31''$ significa 76 grados, 43 minutos y 31 segundos (Porta Inga, 2017).

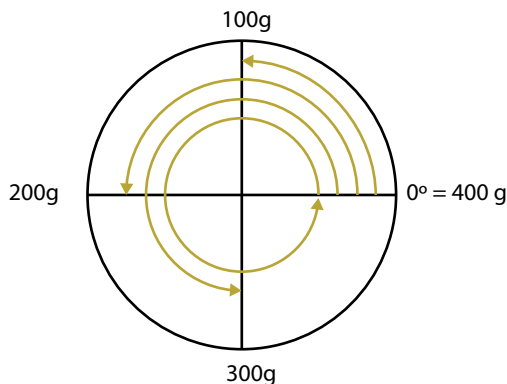
Figura 38. Graduación sexagesimal

Fuente: Wikipedia (s.f.).

Graduado centesimal

Los gradientes dividen el círculo en 400° organizados en cuatro secciones de 100 grados. Cada paso tiene un tiempo de 100 minutos con 100 segundos por minuto. Los grados, minutos y porcentajes de segundos se determinan de igual forma que las escalas de género, como 43 g, 12 m, 28 s.

Al mismo tiempo, cada percentil se divide en pequeñas unidades que, a su vez, se subdividen en cien secciones idénticas para generar minutos. Así, un minuto (m) en este sistema es igual a una centésima de grado ($1 \text{ g} = 100 \text{ m}$) y un segundo (s) es igual a una centésima de minuto ($1 \text{ m} = 100 \text{ segundos}$). Aunque se pretendía que este sistema reemplazara el sistema sexagesimal, finalmente fracasó debido a la facilidad de uso y la mayor precisión que solo existía en unas pocas aplicaciones específicas como terreno, construcción de carreteras o uso de cañones (Porta Inga, 2017).

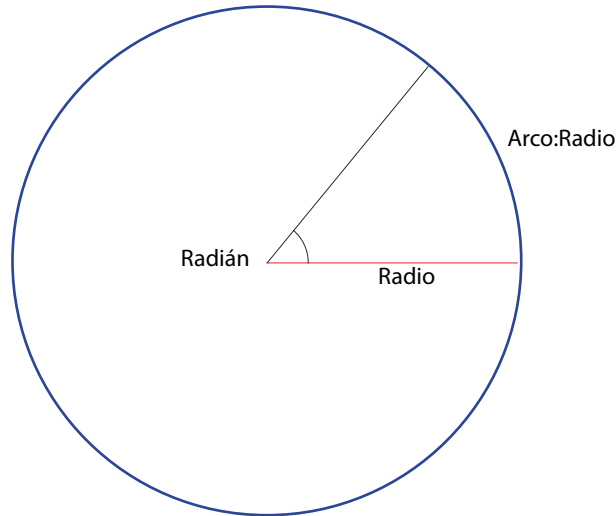
Figura 39. Graduación centesimal

Fuente: Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM, s.f.).

Radial

Los radianes (rad) son la medida del ángulo y son iguales al radio. La Figura 40 muestra esta relación.

Figura 40. Radián



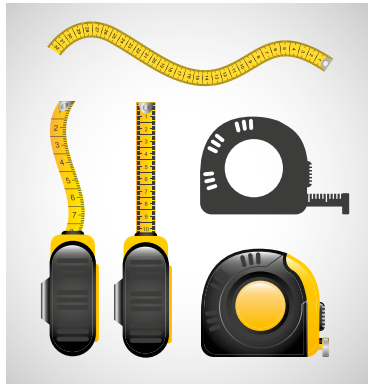
Fuente: elaboración propia.

Se tiene un círculo en el que el vértice del ángulo coincide con el centro (o) y los lados del ángulo ya no son líneas rectas, sino que ahora describen un arco (AB) con dos radios (r) de la misma longitud que el radio (r). Cuando ocurre, el ángulo (α) contenido dentro de estos radios es equivalente a 1 radián. En general, el número irracional pi (π) se usa para formar radianes y es equivalente entre grados sexagesimal y radianes: $1\pi \text{ rad} = 180^\circ$.

5.2. Unidades de longitud

La unidad de longitud es una cantidad convencionalmente normalizada. La longitud es una cantidad básica diseñada para medir los espacios entre dos puntos. Asimismo, existen varios sistemas de unidades para estas cantidades físicas, siendo los más comunes el sistema internacional de unidades y el sistema anglosajón de unidades (Jiménez-Cleves *et al.*, 2019).

La unidad más utilizada es el metro y este pertenece a un grupo que es el sistema métrico decimal. Se utiliza para medir herramientas como las reglas o el flexómetro, que son de uso común en todos los países.

Figura 41. Herramientas de medidas

Fuente: elaboración propia.

Relaciones empleadas para las unidades de longitud:

Equivalencias múltiplos del m:

- » Decámetro = 1 Dm = 10 m.
- » Hectómetro = 1 Hm = 100 m.
- » Kilómetro = 1 Km = 1000 m.
- » Miriámetro = 1 Mm = 10 000 m.

Equivalencias submúltiplos del m:

- » Decímetro = 1 dm = 0,1 m.
- » Centímetro = 1 cm = 0,01 m.
- » Milímetro = 1 mm = 0,001 m.

Otras unidades de superficie:

- » 1 Metro => 10 dm => 100 cm => 1000 mm.
- » 1 Yarda => 36 pulg.
- » 1 Metro => 3,2808 pies.
- » 1 Milla => 5,280 pies => 1609,34 m.
- » 1 Metro => 1,193.

5.3. Unidades de área o de superficie

La unidad de área se utiliza y se expresa en metros cuadrados (m^2). Aunque usualmente se utiliza mucho la hectárea (ha) para medir el tamaño de las parcelas. Para áreas grandes, generalmente se utilizan los km^2 .

Equivalencias múltiplos del m^2

- » Decámetro cuadrado = $1 \text{ Dm}^2 = 100 \text{ m}^2$.
- » Hectómetro cuadrado = $1 \text{ Hm}^2 = 10\,000 \text{ m}^2$.
- » Kilómetro cuadrado = $1 \text{ Km}^2 = 1\,000\,000 \text{ m}^2$.

Equivalencias submúltiplos del m^2 :

- » Decímetro cuadrado = $1 \text{ dm}^2 = 0,01 \text{ m}^2$.
- » Centímetro cuadrado = $1 \text{ cm}^2 = 0,0001 \text{ m}^2$.
- » Milímetro cuadrado = $1 \text{ mm}^2 = 0,000001 \text{ m}^2$.

Otras unidades de superficie:

- » $1 \text{ Ha} \Rightarrow 10\,000 \text{ m}^2$.
- » $1 \text{ Mz} \Rightarrow 10\,000 \text{ v}^2$.
- » $1 \text{ Mz} \Rightarrow 7026 \text{ m}^2$.
- » $1 \text{ Km}^2 \Rightarrow 100 \text{ ha}$.
- » $1 \text{ Pie}^2 \Rightarrow 144 \text{ pulg}^2$.
- » $1 \text{ pulg}^2 \Rightarrow 6451 \text{ cm}^2$.
- » $1 \text{ m}^2 \Rightarrow 1,55 \text{ pulg}^2$.
- » $1 \text{ v}^2 \Rightarrow 1089 \text{ pulg}^2$.

5.4. Unidades de volumen

La unidad cúbica mide el espacio que ocupan los objetos en tres dimensiones: largo, ancho y alto. Su unidad principal es el metro cúbico (m^3), que corresponde al volumen de un metro de ancho por un metro de largo y un metro de alto, es decir, el cubo.

Por lo demás, esta unidad se usa para cuantificar los movimientos del suelo durante los movimientos de tierra que deben realizarse como parte de proyectos de construcción o ingeniería. De manera similar, la fabricación de equipos que realizan movimientos terrestres o trasladan material de dragado generalmente se muestra en metros cúbicos por hora, aunque en los manuales de operación de equipos de movimiento terrestre de los EE. UU. los volúmenes se miden en metros cúbicos. El equivalente se puede determinar fácilmente utilizando la conversión adecuada ($1 \text{ yarda cúbica} = 0,7646 \text{ m}^3$). De igual modo, el litro o decímetro cúbico se usa a menudo como unidad de volumen para medir el flujo en pequeños arroyos. Un metro cúbico es igual a mil litros.

Equivalencias de los múltiplos del m^3

- » Decámetro cúbico = $1 \text{ Dm}^3 = 1000 \text{ m}^3$.
- » Hectómetro cúbico = $1 \text{ Hm}^3 = 1\,000\,000 \text{ m}^3$.
- » Kilómetro cúbico = $1 \text{ Km}^3 = 1\,000\,000\,000 \text{ m}^3$.

Equivalencias de los submúltiplos del m^3

- » decímetro cúbico = $1 \text{ dm}^3 = 0,001 \text{ m}^3$.
- » centímetro cúbico = $1 \text{ cm}^3 = 0,000001 \text{ m}^3$.
- » milímetro cúbico = $1 \text{ mm}^3 = 0,000000001 \text{ m}^3$.

CAPÍTULO 6

ESCALAS EN LA TOPOGRAFÍA PLANA

Graficar los resultados de cualquier medición topográfica en un plano requiere el uso del concepto de escala, la cual representa la relación entre el número de unidades de longitud en el suelo y el número de unidades de longitud en el plano. Los valores de escala para dibujos o planos de planta se pueden expresar en letras, números o fracciones representativas. Por lo general, el terreno utiliza una escala reducida debido a que el tamaño medido en la prueba es mucho mayor que el tamaño del papel en el que se dibuja el objeto a medir, pero tiene la desventaja de no mostrar detalles.

Figura 42. Planos a escala



Fuente: elaboración propia.

Es decir, la escala es una simple analogía que hay entre un dibujo y la medida real de un objeto. Se define sencillamente por la expresión:

$$\text{Esc} = \text{MD}/\text{MRO}$$

En donde

Esc: significa escala.

MD: es la medida real que tiene el papel.

En la primera fase, utilizando las proporciones, se inventaron las escalas naturales en donde la figura era de la misma dimensión que la real (Esc: 1:1). En la segunda fase, la unidad de medida se reduce por un factor de n, mientras que en la tercera fase, la relación se puede dividir o multiplicar y, por lo tanto, ser fraccionario. Las escalas se clasifican en tres grupos:

- **Reducción**

Son las que minimizan las longitudes (Esc: 1/100, 1/75).

- **Ampliación**

Son las que expanden una longitud establecida, mayormente en planos detallados.

- **Natural**

Cuando el objeto real queda igual que en el dibujo.

Asimismo, las siguientes son escalas muy comunes:

- » 1/10.
- » 1/20.
- » 1/25.
- » 1/30.
- » 1/33.
- » 1/40.
- » 1/50.
- » 1/75.
- » 1/100.
- » 1/125.
- » 1/20.

Usualmente, se entiende que la escala 1/n es una razón de 1 cm. El tamaño de la figura es n cm en realidad, por ejemplo, la expresión Esc: 1/100 quiere decir que cada 1 cm de longitud en el plano equivale a 1 m en la realidad.

La escala de una ilustración se puede reflejar de tres formas diferentes:

- » **Escala correspondiente:** indica cuántas unidades en el mapa o plano (cm, pulgadas, milímetros, etc.) corresponden a otra unidad en el suelo (km, millas, metros, etc.) con símbolos de la misma marca y unidades diferentes.
- » **Regla digital:** relaciona cualquier longitud medida en una superficie plana con la longitud de acuerdo con la medida en el suelo. Generalmente expresado como 1:500, también se puede expresar como una fracción de 1/500. La escala 1:500 señala que cada distancia medida en el mapa o plano representa 500 veces la distancia real en el suelo. Entonces, se puede decir que 1 centímetro en el mapa equivale a 500 centímetros en el suelo y 1 pulgada en el mapa equivale a 500 pulgadas en el suelo.
- » **Escala gráfica:** incluye la línea recta graduada en unidades correspondientes a medidas topográficas reales. Cualquier medida en el plano se puede comparar con esta regla para definir la longitud real que esta representa. Además, miden distancias, áreas, pendientes, etc. Están realizadas casi en su totalidad con escalas numéricas. De igual forma, la escala gráfica es fácil de interpretar y tiene la particular ventaja de que sigue siendo válida cuando un mapa o plano de planta se amplía o se reduce mediante fotografía o cualquier otra técnica utilizada para acercar y alejar el plano de planta. Por eso, toda obra responsable debe tener proporciones, figuras y gráficos.

6.1. Procesos para escala

La escala verbal se expresa vinculando el número de unidades (generalmente una) en un plano o dibujo con el número de unidades que representa en el suelo. Por ejemplo, un centímetro en un avión equivale a diez kilómetros en tierra, lo cual es un pequeño porcentaje debido a que su tamaño se reduce considerablemente. Otra escala podría ser aquella que indica que 1 cm en el mapa está a medio metro del suelo, lo que significa una escala grande.

Se representa en una escala gráfica por una línea o recta pintada en el mismo plano que la medida topográfica y sus divisiones indican la relación entre las unidades en el plano y las unidades terrestres. Además, puede ser abierto o lleno. Por lo general, la primera división de la escala gráfica tiene subdivisiones menores y las divisiones restantes se denominan mayores. Cada plano debe tener una escala de figura, porque si se reduce o aumenta el dibujo, la escala de la figura se dividirá según la proporción.

En general, las dimensiones de escala del diseño para trabajos topográficos pueden estar en el siguiente orden de magnitud:

- » Pequeña escala: mayor que 1: 10 000.
- » Proporción intermedia de 1:10 000 a 1:1000.
- » Gran escala: menos de 1: 1000.

Los mapas catastrales suelen dibujarse a escala 1:10 000, escala urbana 1:50 000, mientras que para estados la escala es de 1:500 000 y la escala geográfica es superior a 1:500 000. En la práctica, la escala varía de acuerdo con el tamaño de la parcela que se presenta y del tamaño del papel en el que se dibujará el plano (Wikipedia, 2022).

6.2. Fracciones representativas para convertir áreas

Figura 43. Medición del área



Fuente: elaboración propia.

Cuando se realiza la medida del área de la parcela directamente en un plano, ya sea dividiéndola en formas geométricas como rectángulo, triángulo, trapecoide, etc. o por planímetro electrónico o mecánico, se logra el área en mm^2 o cm^2 en un plano. Para obtener el plano real en planta se debe tener en cuenta el factor de escala E a la hora de realizar los dibujos correspondientes (Equipos y Consumibles de Occidente, s.f.).

Ejemplo:

Se tiene en el plano un área de un rectángulo de 15 cm por 18 cm, obteniendo un área de 180 cm^2 . Esto teniendo en cuenta una escala en el plano de 1:500, es decir, el factor de escala es 500, lo que quiere decir que cada medida obtenida en el plano es equivalente a 500 veces la longitud obtenida en terreno:

Área de terreno: $(15 \times 500) \text{ cm} (18 \times 500) \text{ cm}: 15 \times 18 \times 500^2: 67\ 500\ 000 \text{ cm}^2 = 6750 \text{ m}^2$.

De lo anterior se obtiene una expresión para convertir el área por fracción representando y usando un sistema de unidades:

$$A_t: A_p (F_e)^2$$

En donde:

A_t : es el área en el terreno.

A_p : es el área medida en el plano.

F_e : Factor de escala.

CAPÍTULO 7

OTROS TÉRMINOS EN LA TOPOGRAFÍA PLANA

7.1. Nivel de precisión

La elevación del suelo, también conocida como nivel óptico o contorno, es una de las herramientas de terreno más utilizadas por cualquier fotógrafo de terreno en su trabajo diario. Debe manejarse con cuidado, pero es una gran habilidad para tener a lo largo de los años y trabajar con ella.

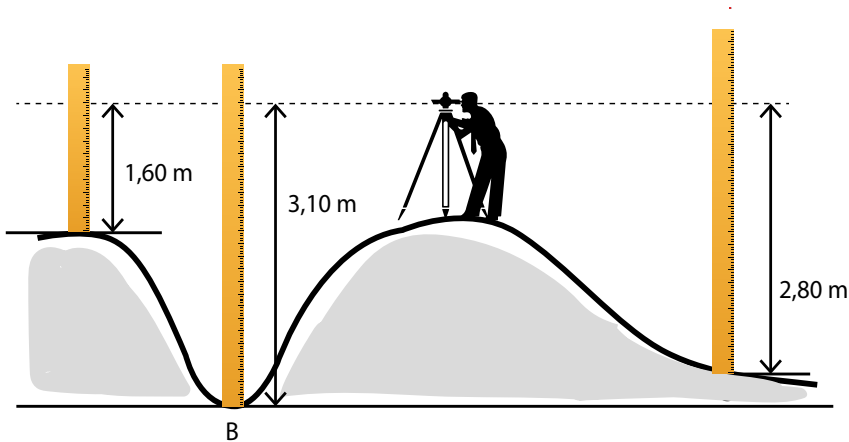
El objetivo fundamental de esta herramienta es medir desniveles entre puntos de diferentes elevaciones o alturas. Además, se puede utilizar para verificar, por ejemplo, dos puntos de la misma elevación. Otra de las aplicaciones más significativas de estos dispositivos es la transferencia de altitud desde un punto conocido, es decir, altitud conocida a otra altitud desconocida.

Por otra parte, el nivel del suelo puede ser manual en cuyo caso el operador debe equilibrar el nivel maestro en cada lectura, o automático, donde el operador no necesita calibrar el nivel y simplemente debe configurar el instrumento para “sazonar”. La mayoría de las elevaciones o niveles básicos que se pueden encontrar hoy en día son automáticos, y aunque hace unos años era extraño ver uno de estos dispositivos, con el tiempo se han hecho más frecuentes y actualizados.

Ahora bien, lo que realmente no ha cambiado son los niveles topográficos. Como resultado, se encuentran lentes muy similares a un teodolito capaces de apuntar en cruz y con un nivel de sensibilidad muy alto. En algunos casos también se

puede encontrar un compensador de gravedad o de campo magnético en el caso de nivelación automática, además de la burbuja que permite ajustar el dispositivo en cualquier momento; un lente con suficiente aumento para juzgar la división de la línea de visión y una rejilla roscada para apuntar con precisión y recopilar datos (Topografía 2, 2020).

Figura 44. Nivel topográfico



Fuente: Topografía 2 (2020).

El nivel de precisión es una herramienta utilizada para la medición directa de ángulos con alta precisión y se puede dividir en dos categorías según el tipo de sensor que incluyen:

- » **Nivel de burbuja:** su indicador de lectura o posicionamiento es una burbuja en movimiento dentro de un tubo curvo transparente parcialmente lleno con el líquido apropiado. El sistema de medida de tipo mecánico puede ser de tornillo micrométrico o de reloj comparador y puede tener un sistema óptico de aumento más o menos complicado de leer.
- » **Niveles de electrónica:** su indicador de posición es un disco o péndulo adosado a una base de apoyo que opera con un sistema electrónico capacitivo o inductivo, usualmente diferencial, para generar una señal debidamente manejada que indica las posiciones angulares del nivel de burbuja. Los niveles electrónicos suelen tener dos elementos de detección conectados a la misma escala para manejar la diferencia entre sus lecturas, eliminando así errores debido a vibraciones u otros tipos de variación (Femto Instruments, 2020).

Por otro lado, la precisión representa la repetibilidad entre múltiples mediciones de la misma cantidad. No obstante, es de anotar que varias medidas con el mismo número coinciden en que son correctas, pero no exactas. Los indicadores en los

que las mediciones están cerca del valor promedio se expresan según la precisión del objeto de trabajo. Asimismo, la precisión obtenida en las mediciones de campo depende de la sensibilidad de la herramienta o instrumento, la habilidad del espectador y las restricciones ambientales predominantes.

7.2. Verificación de campo

En todo trabajo topográfico debe encontrarse la manera de verificar sus medidas con múltiples programas, ya que con el método idéntico o por el mismo individuo es fácil cometer los mismos errores. De igual forma, los cálculos realizados deben ser verificados y validados aritméticamente para determinar el error o encontrar el error para corregirlo o decidir repetir la medición. Luego, será necesario determinar la precisión obtenida. Es de mencionar que hasta la confirmación no hay resultados fiables y las mediciones no se considerarán bien hechas hasta este proceso. Durante la medición, tanto la distancia como el ángulo provocarán errores. Por otro lado, la dimensión del error se logra al comparar el valor observado con el valor teórico o esperado y se denomina error de cierre (Femto Instruments, 2020).

Figura 45. Verificación



Fuente: elaboración propia.

7.3. Información registrada en campo y tipos de carteras

La parte más importante del trabajo de campo consiste en recopilar datos de medidas de ángulos o líneas y registrarlos en cuadernos especiales llamados “carteras”.

Figura 46. Registro de datos

Fuente: elaboración propia.

Esta es una de las primeras etapas de cualquier trabajo de campo y consiste en localizar y registrar una serie de puntos en el terreno cuyas coordenadas se pueden recoger mediante técnicas y herramientas de campo. Por lo demás, los puntos deben ser lo más específicos posibles (Geocities, s.f.).

Entretanto, las carteras de campo son portátiles de alta calidad especialmente diseñados que pueden soportar un uso intensivo mientras se trabaja en terreno. Los tipos de cartera varían según la clase de anotación o el trabajo de encuesta que se vaya a realizar. De igual forma, cada una de sus páginas debe tener líneas horizontales y verticales y encabezados relacionados. Por lo demás, los tipos de carteras comúnmente utilizados en el trabajo de campo son los siguientes:

7.3.1. Cartera de transferencia

Están destinados a mediciones planas generales. La página de la izquierda está dividida en columnas con líneas horizontales en las filas en donde se registran los datos medidos y las sugerencias pertinentes. Cada columna tiene un encabezado que muestra la clase de medición o registro, mientras que en el lado derecho aparece una cuadrícula con una línea vertical roja debajo del centro de la página. A su vez, en la página se esquematizan bocetos, diagramas de alineación, ángulos, orientación, vértices o referencias del sitio e incluye notas explicativas u observacionales apropiadas.

7.3.2. Cartera a capas

Se utilizan para registrar mediciones o lecturas a través de equipos apropiados (suelo y calibre) para determinar la altitud de un punto en el suelo en una ubicación particular. Los dos lados (izquierdo y derecho) se dividen en columnas con líneas horizontales más espaciadas (Geocities, s.f.).

7.3.3. Carteras para toma de la topografía

Se usan para registrar la jerarquía de parcelas o franjas de terreno que indican las posiciones relativas de puntos de cota igual, curvas o puntos medidos a una distancia constante con líneas de referencia, así como para perfiles de terreno gráficos o rápidos o para representación del terreno. Ambos lados tienen cuadrículas con cuatro columnas seleccionadas en cada lado con líneas de cuadrícula resaltadas. Por otro lado, la columna del medio entre los lados representa el eje que se va a alinear y los lados izquierdo y derecho se utilizan para registrar las medidas en ambos lados del eje.

7.3.4. Cartera de chaflanes

Se utiliza para registrar datos transversales de estructuras longitudinales como caminos y canales. Para su construcción es importante hacer trabajos de conformación y relleno. Por otro lado, las líneas de sección y los encabezados están diseñados para registrar el corte y la pendiente del eje, los datos de la sección, como las alturas de corte y relleno, las posiciones de curvatura y chaflán, el área de la sección y la masa del suelo entre las secciones.

7.3.5. Monedero electrónico

Los modernos teodolitos y estaciones totales están equipados con equipos automáticos de adquisición de datos del tamaño de una computadora o directamente en el dispositivo que almacena datos magnéticos como determinación de puntos, distancias, ángulos horizontales, verticales y anotación. Estos datos se pueden transferir a través de una interfaz directa o módem a un archivo de computadora para su posterior procesamiento. De igual forma, la ventaja de una cartera electrónica es que puede eliminar errores en la lectura y escritura de distancias y ángulos para reducir los tiempos de entrada y procesamiento. Sin embargo, con esta herramienta siempre existe el riesgo de borrar datos accidentalmente (Geocities, s.f.).

7.4. Líneas, planos, ángulos horizontales y verticales

El plano horizontal es el plano paralelo o tangente a la horizontal y es la base de producción para proyectar todos los puntos de medición sobre el suelo.

Una recta horizontal es una línea que se encuentra en el plano horizontal y, por eso, es tangente a una superficie de nivel. En el terreno, cada línea horizontal es

una línea recta. Es de anotar que al aplicar (calcular y dibujar) el plano de planta solo se tienen en cuenta las distancias horizontales. En el caso de mediciones de distancia oblicuas el observador se debe alejar del horizonte o calcular la proyección horizontal de la medición. De otro lado, un ángulo horizontal está formado por dos líneas que se encuentran en un plano igualmente horizontal. Así, el valor del ángulo horizontal se usa para determinar la dirección de alineación desde la línea de referencia.

En otro orden de ideas, el plano vertical es el plano perpendicular al plano horizontal. Una línea vertical se encuentra en un plano vertical, pero es perpendicular al plano horizontal, mientras que la diferencia horizontal entre los puntos se mide en esta línea. De igual forma, el ángulo vertical también está incluido en el plano vertical, pero se mide desde una línea vertical o una línea paralela a una superficie horizontal. El ángulo vertical se utiliza para determinar la pendiente de la ruta sobre el suelo. Si se utiliza como referencia una línea horizontal, el ángulo vertical se denomina ángulo diagonal, el cual puede ser positivo, alto, negativo o inferior. Esta es la llamada pendiente de la línea, que se puede expresar como un ángulo y un porcentaje.

Si se elige como referencia el límite superior de una línea vertical, el ángulo se denomina cenital, mientras que el límite inferior se llama nadir. El cenit es un punto ubicado perpendicularmente a la superficie de la tierra y el nadir es el punto opuesto al cenit.

7.5. Altura de un punto

La elevación en el terreno es un tema específico por cuanto los diferentes sistemas de proyección usarán la elevación en referencia a diferentes superficies, un elipsoide o geoide en particular.

7.6. Cota de un punto

Es la distancia vertical entre un punto en el suelo y un plano de referencia horizontal especificado. Por regla general, el plano de referencia se toma desde el nivel del mar (msnm) y se denomina altitud. La altitud es un número en un mapa que representa la altura sobre el nivel del mar o en un plano determinado la distancia vertical entre un punto en el suelo y un plano de referencia horizontal dado. La línea de dimensión debe ser completamente perpendicular a la línea de referencia y paralela a la distancia que limita. Por otro lado, es mejor no colocar líneas de dimensión en el dibujo, por el contrario, lo recomendable es seguir el orden en que se colocan las líneas de dimensión (Geocities, s.f.).

7.7. Elevaciones de puntos

La nivelación del terreno es el proceso por el cual se mide la elevación de diferentes puntos en la superficie terrestre. Al respecto, se puede entender la altura o cota como la distancia vertical desde la superficie de referencia hasta el punto en cuestión.

Es, además, un método altimétrico diseñado para obtener la elevación de uno o más puntos a partir de observaciones topográficas (como ángulo, pendiente, distancia) y un conjunto de medidas y cálculos para asegurar la elevación de un punto en relación con un plano particular de referencia. Entonces, se puede definir el proceso de medir y calcular la altura como la distancia vertical desde la superficie de referencia hasta un punto en la superficie. Esta distancia vertical se mide a lo largo de la dirección de la gravedad o de la plomada (Geocities, s.f.).

7.8. Curvas de nivel

Son líneas dibujadas en un plano de planta y representan la topografía o configuración topográfica de un terreno. Las envolventes conectan puntos en el suelo que tienen la misma elevación, por lo que representan la intersección del suelo con la elevación. Por supuesto, la distancia entre curvas de nivel en un plano de planta representa la distancia horizontal entre ellas, mientras que la distancia o distancia vertical se calcula a partir de la diferencia de elevación. Por lo demás, el nivel o altura del contorno es el nivel o altura del plano horizontal que lo contiene.

7.9. Referencia de los puntos topográficos

Son medidas de distancia y ángulo tomadas en campo desde el punto más crucial (cima o topografía) de la medición topográfica hasta los detalles estables y firmes. Esto para determinar la posición relativa del terreno en ese punto. De igual modo, estas medidas se utilizan posteriormente para determinar este punto en caso de que se pierda (Geocities, s.f.).

Figura 47. Referencia de puntos topográficos



Fuente: elaboración propia.

7.10. Estacas, vértices y estaciones

Los vértices se crean en la intersección de dos líneas, por ejemplo, en un ángulo de una poligonal abierta o cerrada. Si durante el levantamiento se monta un dispositivo de medición como un teodolito o un transmisor directamente en la parte superior, este punto se denomina posición. Los vértices, estaciones y demás puntos auxiliares necesarios durante la realización de las mediciones topográficas se realizarán de forma permanente o temporal. Por lo general, se distinguen los siguientes tipos de puntos:

7.10.1. Puntos momentáneos: son puntos solicitados durante el desarrollo del trabajo de campo que dejan un punto de referencia temporal para la continuación de la medición y la dirección del curso.

Los elementos utilizados son varillas o fichas, es decir, varillas en forma de anillos y pinchos con una altura de 25 a 35 cm. También se usan mojones o balizas, los cuales son varillas de 2 a 3 metros de largo hechas de madera o metal con intervalos alternados de 20 cm de color rojo y blanco que, además, terminan en una barra de acero llamada tubo metálico de hierro (Geocities, s.f.).

7.10.2. Puntos de transición: Es recomendable mantener estos puntos hasta la fase de construcción del proyecto. Por lo general, las estacas se pierden durante esta etapa o se rompen durante la demolición al comienzo de la construcción. Asimismo, los puntos de transición son tipos de apuestas y pueden clasificarse en las siguientes categorías:

- » **Estacas transitorias:** son puntas cortas de 8 a 12 cm y 5 cm de espesor utilizadas para marcar lugares en donde se requieren instalar teodolitos, pegarlos encima y clavarlos al piso. Si la tierra está demasiado suelta, se debe erigir una estaca más larga de unos 30 cm.
- » **Estacas de tránsito:** estaca con longitud de 30 cm con caras para identificar un punto en el suelo.
- » **Estacas de nivelación:** se utilizan para cambiar puntos durante los procedimientos de nivelación diferencial con el fin de ubicar puntos temporales de elevación conocida.
- » **Estacas de chaflán:** empleadas en trabajos de campo para marcar el punto de inicio de la excavación, ya sea de corte o de relleno en obras de ingeniería. También son postes de madera de 30 cm de largo con dos caras talladas que indican la distancia del chaflán a la altura del terraplén y al eje de referencia o la profundidad del retorno. El punto de bisel representa la intersección del terreno natural y la superficie inclinada diseñada para las obras civiles (Geocities, s.f.).

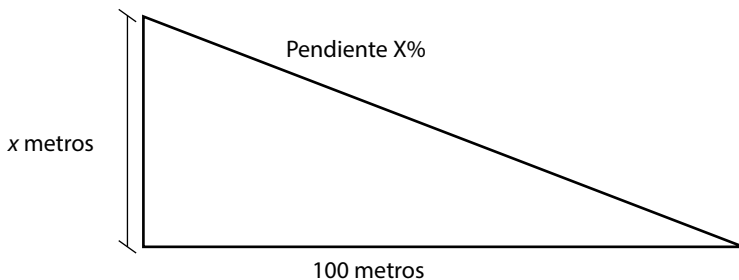
7.10.3. Puntos determinantes: son puntos que se mantienen constantes, incluso posteriormente al levantamiento topográfico (antes, durante y después de la construcción). Se utilizan con otras referencias para trasladar puntos de transición del levantamiento topográfico a la misma ubicación. Esta operación se denomina replanteo. Asimismo, las designaciones de puntos pueden ser de dos tipos:

- » **Naturales:** se forman en el suelo, como la intersección de riberas de ríos, carreteras, caminos, rocas, cantos rodados, montañas colgantes, etc.
- » **Artificiales:** son columnas paralelas de hormigón prefabricado o vaciado *in situ* denominadas mojonos y enterradas a 5 cm del suelo o completamente cubiertas con una capa protectora. Si el sustrato está suelto, se debe colocar también el tirante. Las estelas están incrustadas con placas o elementos de cobre que definen la respectiva estela y su posición relativa (coordenadas y elevación).

7.11. Pendiente de una línea

La pendiente de una recta se define como el ángulo tangente que forma con la horizontal y se puede expresar en grados y porcentajes (Geocities, s.f.).

Figura 48. Pendiente de una línea



Fuente: elaboración propia.

7.12. Los conceptos de azimut y rumbo

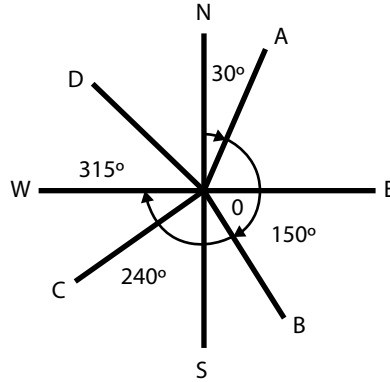
La dirección de alineación del campo viene dada en función del ángulo que forma con el meridiano de referencia y puede ser de dos tipos: azimut y rumbo de un alineamiento.

7.12.1. Azimut de un alineamiento

Es el ángulo horizontal medido en el sentido de las agujas del reloj desde la parte superior del meridiano (generalmente llamado norte) hasta la línea correspondiente. Su valor puede ser de 0 a 360° en el sistema sexagesimal o de 0 a 400° en el sistema

centesimal. El azimut puede ser real, arbitrario o magnético según el meridiano que se utilice como referencia (Delgado *et al.*, 2020).

Figura 49. Azimut

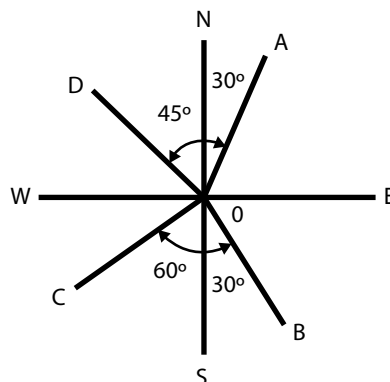


Fuente: elaboración propia.

7.12.2. Rumbo de un alineamiento

Este es el ángulo horizontal de la ruta con respecto al meridiano de referencia, medido por el polo norte o sur según la dirección de esa ruta. Se representa por un ángulo de entre 0 y 90° indicando en qué cuadrante se encuentra (Delgado *et al.*, 2020).

Figura 50. Rumbo



Fuente: elaboración propia.

7.12.3. Dirección de alineamientos

Un alineamiento de campo es una línea trazada y medida entre dos puntos en la superficie de la Tierra. No debe confundirse con una alineación, que es un conjunto de operaciones de campo para la medición de la orientación o la distancia, de modo que el punto intermedio utilizado siempre está en la dirección de alineamiento. Asimismo, la orientación de alineamiento siempre se da en función del ángulo horizontal que se produce entre el alineamiento y la línea de referencia tomada. La orientación siempre se mide en un plano horizontal o en planta y hay diferentes formas de introducir la dirección de una fila:

- » El ángulo en el que una línea se alinea con su adyacente indicando la dirección en la que se mide el ángulo, en sentido horario o positivo (+) o en sentido antihorario o negativo (-).
- » El ángulo formado por cada alineación de acuerdo con una única línea de referencia se le llama “meridiano de referencia”. Este es el método habitual.

7.13. Clases de ángulos horizontales medidos en cada vértice de la poligonal

Se entiende por poligonal topográfica a una serie de recorridos que pueden abrirse o cerrarse y utilizarse como patrón geométrico de referencia para la medición del terreno. En cada vértice se pueden medir tres tipos de ángulos: derecho, izquierdo y desplazamiento o rotación.

- » **Ángulos a la derecha:** son ángulos que se miden en el sentido de las agujas del reloj o en el sentido positivo por tener la misma dirección que el azimut.
- » **Ángulos izquierdos:** estos son ángulos medidos en sentido antihorario. Se consideran negativos porque son de azimut opuesto.
- » **Ángulos de giro o de deflexión:** estos ángulos son medidos entre la ampliación del recorrido previo y el siguiente, I izquierda (-) o D derecha (+).
- » **Ángulos izquierdo y derecho:** de 0° a 360° y ángulos de inclinación o rotación de 0° a 180° . Si el ángulo de desviación se mide a la derecha es superior a 180° , por ejemplo, 200° D, debe tratarse como 160° o en el sentido contrario a las agujas del reloj (Delgado *et al.*, 2020).

7.14. Clases de meridiano de referencia

El meridiano de referencia utilizado para medir el plano o para orientar el terreno puede ser de cualquier tipo: magnético, arbitrario y verdadero.

7.14.1. Meridiano verdadero

Es una línea que recorre los polos geográficos de la Tierra según las observaciones astronómicas. Estos meridianos se fijan de forma permanente o en una dirección fija.

7.14.2. Meridiano magnético

Estas son líneas que indican la dirección de los polos magnéticos de la Tierra, es decir, la dirección de la brújula. Se trata de una dirección constante, pues el Polo Norte no cuenta con una posición fija y se desacelera uniformemente con el tiempo. Los meridianos magnéticos pueden cambiar de muchas formas diferentes: seculares (una vez cada 300 años), anuales, diurnos, irregulares y lunares. Entretanto, la dirección magnética es la dirección determinada por la brújula. En el centro de la brújula hay una aguja magnetizada apoyada en un eje que gira libremente y se orienta bajo la atracción gravitacional de los polos magnéticos de la Tierra apuntando en dirección norte-sur. La diferencia entre el meridiano verdadero y el meridiano magnético se llama desviación magnética. De igual modo, este desplazamiento puede ser a la izquierda o al oeste (O) a la derecha o al este (E).

La inclinación del campo magnético cambia según la posición de las líneas en la superficie terrestre. Si se dibujan líneas rectas sobre una gran área de la Tierra conectando puntos de igual inclinación del campo magnético, se les llama plano isobárico o uniforme. La línea que se desvía de 0 se llama meridiano, es decir, el meridiano verdadero y el meridiano magnético coinciden aquí. La aguja de la brújula también se dibuja verticalmente hacia el pilar más cercano, por lo que la aguja de la brújula tiene un contrapeso en el extremo del otro lado del hemisferio donde se encuentra el lugar de trabajo. Si los puntos con la misma pendiente del campo magnético se unen en un plano en la región terrestre, se denominan planos isométricos.

7.14.3. Meridianos arbitrarios

En levantamientos topográficos, cuando no se dispone de un rumbo para cualquiera de los meridianos enumerados anteriormente y no se requiere trabajo, se puede usar cualquier línea como referencia para todas las mediciones de todos los meridianos requeridos. Es necesario tomar las medidas topográficas apropiadas. Entretanto, cualquier meridiano de referencia puede ser una línea desde un punto de partida hasta un árbol, una torre o cualquier otra característica que se pueda implementar de manera fácil en el campo.

REFERENCIAS

- Alcántara García, D.A. (2014). *Topografía y sus aplicaciones*. Compañía Editorial Continental.
- Casanova, L. (2002). *Topografía plana*. Universidad de los Andes de Mérida. http://www.serbi.ula.ve/serbiula/libros-electronicos/Libros/topografia_plana/pdf/topografia.pdf
- CIENTEC Instrumentos Científicos. (2020). ¿Qué es un levantamiento topográfico? *CIENTEC*. <https://cientecinstrumentos.cl/que-es-un-levantamiento-topografico/>
- Dawson, J. (2019). *Why, what, and how of GNSS CORS and Geospatial infrastructure*. Australia Government. https://www.unoosa.org/documents/pdf/psa/activities/2019/UN_Fiji_2019/PD-29.pdf
- EMGEPRON. (2020). *Levantamientos hidrográficos*. https://www.marinha.mil.br/emgepron/sites/www.marinha.mil.br/emgepron/files/fichatecnica/lt_levantamento_hidrografico.pdf
- Equipos y Consumibles de Occidente. (s.f.). *Generalidades de la topografía*. <https://acortar.link/KCa9zf>
- Estruch Serra, M. y Tapia Gómez, A. (2003). *Topografía subterránea para minería y obras*. Ediciones UPC.
- Femto Instruments. (2020). *Nivel de precisión*. <https://femto.es/nivel-de-precision>

- Gámez Morales, W. (2015). *Texto básico autoformativo de topografía general*. Universidad Nacional Agraria.
- García Márquez, F. (2003). *Curso básico de topografía. Planimetría, agrimensura, altimetría*. Editorial Pax México.
- Garrido-Villén, N. (24 de noviembre de 2015). Triangulación topográfica. Prácticas de métodos topográficos. *Natalia Garrido-Villén*. <https://nagarvil.webs.upv.es/triangulacion-topografica/>
- Geocities. (s.f.). Definición de algunos otros términos de topografía. *Geocities*. <http://www.geocities.ws/pablojavierbarrera/top7.html>
- Jiménez Cleves, G., Garzón Barrero, J. y Duque Arango, J.J. (2019). *Topografía básica*. Universidad del Quindío.
- Koenig, L.A., Zanetti, M.A. y Faggion, P.L. (2012). *Fundamentos de topografía*. Universidade Federal do Paraná.
- Mejía, A., Ospina, F., Sierra, A. y Zapata, O. (2007). *Cuadernos de topografía: generalidades*. Universidad Nacional de Colombia. https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/77864/CUADERNOS_TOPOGRAFIA_GENERALIDADES.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Navarro Hudiel, S. (2008). *Manual de topografía-planimetría*. <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2011/08/apuntes-topografia-i.pdf>
- Porta Inga, J.E. (2017). *Evaluación de la precisión del proyecto con el método medición del levantamiento topográfico con estación total TOPCON del COAR Chupaca 2016* [Tesis de pregrado en Ingeniería civil]. Universidad Peruana de los Andes.
- Rincón Villalba, M.A., Vargas Vargas, W.E. y González Vergara, C.J. (2017). *Topografía: conceptos y aplicaciones*. Ecoe Ediciones.
- Rodríguez Reategui, G.K. (s.f.). *Topografía para caminos y vías urbanas*. Instituto de Educación Superior Tecnológico Bellavista. <https://erp.iestbellavista.edu.pe/upload/al20211005195040399php4lx2d90.pdf>
- Solano, E. (s.f.). *Conceptos básicos de topografía*. Universidad del Cauca. <http://artemisa.unicauca.edu.co/~esolano/Topo2.pdf>
- Todo Ingeniería Industrial. (s.f.). Tipos de errores. *Todo Ingeniería Industrial*. <https://acortar.link/mhABzM>
- Topografía 2. (10 de diciembre de 2020). Origen y tipos de errores en topografía. *Topografía 2*. <https://topografia2.com/origen-y-tipos-de-errores-en-topografia/>
- Topografía 2. (28 de abril de 2022). ¿Qué es un nivel topográfico? *Topografía 2*. <https://topografia2.com/que-es-un-nivel-topografico/>
- Universidad Politécnica de Madrid. (s.f.). *Teoría de errores*. Universidad Politécnica de Madrid. <https://acortar.link/Iwa0Uy>

- Videla, M.E. (s.f.). *La medición y los errores*. https://web.fceia.unr.edu.ar/images/PDF/catedras/Agrimensura/Topografa_I/La_medicion_y_los_errores.pdf
- Zamarripa Medina, M. (2010). *Apuntes de topografía*. Facultad de Estudios Superiores Acatlán de la Universidad Nacional Autónoma de México. <http://www.bibliotecacpa.org.ar/greenstone/collect/facagr/index/assoc/HASHa003.dir/doc.pdf>
- 4Dmetric. (18 de mayo de 2020). *Fotogrametría aérea y fotogrametría terrestre*. 4Dmetric. <https://acortar.link/DXVZNh>

Este libro fue compuesto en caracteres
Minion a 11 puntos, impreso sobre papel
Bond de 75 gramos y encuadernado con el
método *hot melt* en Bogotá, Colombia.