

1. GENERALIDADES DE LA TOPOGRAFÍA

Con el fin de alcanzar un léxico mínimo y contar con un lenguaje común de topografía, es necesario partir de las definiciones básicas, algunas clasificaciones y divisiones. Este capítulo tendrá un carácter introductorio y servirá como táctica para romper el hielo antes de entrar en materia. Se pretende dar una visión global de la asignatura para familiarizar al estudiante con los fundamentos de esta disciplina de la ingeniería y a la vez aprender algunos elementos conceptuales mínimos que le faciliten la comprensión y asimilación de los temas siguientes. La lectura de este capítulo dejará inicialmente algunas inquietudes y dudas, posiblemente alguna falsa interpretación, pero se espera que una vez finalizado el curso y al volver a leer este capítulo, se tendrá una mejor comprensión, asociación y asimilación de todos los tópicos presentados.

1.1. DEFINICIONES, DIVISIONES Y APLICACIONES DE LA TOPOGRAFÍA

1.1.1. La Geodesia

1.1.2. La Fotogrametría

1.1.3. La Topografía Plana

1.2. FUNDAMENTOS DE LA TOPOGRAFÍA PLANA

1.2.1. División básica para el estudio de la topografía plana

1.2.2. Operaciones o actividades del trabajo topográfico

1.2.3. Hipótesis en que se basa la topografía plana

1.3. Clases de levantamientos de topografía plana

1.3.1. Levantamientos de tipo general (lotes y parcelas)

1.3.2. Levantamiento longitudinal o de vías de comunicación

1.3.3. Levantamientos de minas

1.3.4. Levantamientos hidrográficos

1.3.5. Levantamientos catastrales y urbanos

1.4. ERRORES DE LAS MEDICIONES TOPOGRAFICAS

1.4.1. Errores Sistemáticos o Acumulativos

1.4.2. Errores accidentales, aleatorios o compensatorios

1.5. CLASES Y UNIDADES DE LAS MEDICIONES EN TOPOGRAFIA

1.5.1. Unidades Lineales

1.5.2. Unidades de Area

1.5.3. Unidades de Volumen

1.5.4. Unidades Angulares

1.6. ESCALAS

1.6.1. Metodos de dar Escala

1.6.2. Conversión de Areas por Fracciones Representativas

1.7. DEFINICION DE ALGUNOS OTROS TERMINOS

1.7.1. Grado de Precisión

1.7.2. Comprobaciones de Campo

1.7.3. Notas de Registro de Campo y Tipos de Carteras!

1.7.4. Superficies de Nivel

1.7.5. Planos, Líneas y Angulos Horizontales

1.7.6. Planos, Líneas y Angulos Verticales!

1.7.7. Altura, Cota o Elevación de un punto

1.7.8. Curvas de Nivel

1.7.9. Pendiente de una Línea

1.7.10. Vértices, Estaciones y Estacas

1.7.11. Referencias de un punto Topográfico

1.8. DIRECCION DE ALINEAMIENTOS

1.8.1. Tipos de meridianos de Referencia

1.8.2. Conceptos de Azimut y Rumbo

1.8.3. Tipos de ángulos Horizontales medidos en los vértices de poligonales

1.9. POSICION RELATIVA DE PUNTOS EN EL TERRENO

Generalidades de Topografía

1.1. DEFINICIONES, DIVISIONES Y APLICACIONES DE LA TOPOGRAFÍA

La topografía es una ciencia que estudia el conjunto de procedimientos para determinar las posiciones relativas de los puntos sobre la superficie de la tierra y debajo de la misma, mediante la combinación de las medidas según los tres elementos del espacio: distancia, elevación y dirección. La topografía explica los procedimientos y operaciones del trabajo de campo, los métodos de cálculo o procesamiento de datos y la representación del terreno en un plano o dibujo topográfico a escala. El conjunto de operaciones necesarias para determinar las posiciones de puntos en la superficie de la tierra, tanto en planta como en altura, los cálculos correspondientes y la representación en un plano (trabajo de campo + trabajo de oficina) es lo que comúnmente se llama "Levantamiento Topográfico" La topografía como ciencia que se encarga de las mediciones de la superficie de la tierra, se divide en tres ramas principales que son la geodesia, la fotogrametría y la topografía plana.

1.1.1. La Geodesia

La geodesia trata de las mediciones de grandes extensiones de terreno, como por ejemplo para confeccionar la carta geográfica de un país, para establecer fronteras y límites internos, para la determinación de líneas de navegación en ríos y lagos, etc. Estos levantamientos tienen en cuenta la verdadera forma de la tierra y se requiere de gran precisión. Cuando la zona de que se trate no sea demasiado extensa, se puede obtener la precisión requerida considerando la tierra como una esfera perfecta, pero si dicha superficie es muy grande debe adoptarse la verdadera forma elipsoidal de la superficie terrestre. Los levantamientos de grandes ciudades se hacen bajo el supuesto de que la tierra es perfectamente esférica. Este tipo de levantamiento está catalogado como de alta precisión e incluye el establecimiento de los puntos de control primario o puntos geodésicos, que son puntos debidamente materializados sobre la superficie de la tierra, es decir, con posiciones y elevaciones conocidas, las cuales son de gran importancia y trascendencia por constituir puntos o redes de apoyo y referencia confiables para todos los demás levantamientos de menor precisión. Los puntos fijados geodésicamente (levantamiento de control), como por ejemplo los vértices de triangulación, constituyen una red a la que puede referirse cualquier otro levantamiento sin temor a error alguno en distancias horizontal o vertical o en dirección, derivado de la diferencia entre la superficie de referencia y la verdadera superficie de la tierra.

1.1.2. La Fotogrametría

La fotogrametría es la disciplina que utiliza las fotografías para la obtención de mapas de terrenos. Los levantamientos fotogramétricos comprenden la obtención de datos y mediciones precisas a partir de fotografías del terreno tomadas con cámaras especiales u otros instrumentos sensores, ya sea desde aviones (fotogrametría aérea) o desde puntos elevados del terreno (fotogrametría terrestre) y que tiene aplicación en trabajos topográficos. Se utilizan los principios de la perspectiva para la proyección sobre planos a escala, de los detalles que figuran en las fotografías. Los trabajos fotogramétricos deben apoyarse sobre puntos visibles y localizados por métodos de triangulación topográfica o geodésicos que sirven de control tanto planimétrico como altimétrico. Como una derivación de la fotogrametría, está la fotointerpretación que se emplea para el análisis cualitativo de los terrenos. La fotogrametría aérea se basa en fotografías tomadas desde aviones equipados para el trabajo, en combinación de las técnicas de aerotriangulación analítica para establece posiciones de control para la obtención de proyecciones reales del terreno y para hacer comprobaciones con una menor precisión que la obtenida en las redes primarias de control geodésico. Tiene las ventajas de la rapidez con que se hace el trabajo, la profusión de los detalles y su empleo en lugares de difícil o imposible acceso desde el propio terreno. Esta disciplina se emplea tanto para fines militares, como para los levantamientos topográficos generales, anteproyecto de carreteras, canales y usos agrícolas catastrales, estudios de tránsito, puertos, urbanismo, etc. La fotogrametría terrestre hace los levantamientos basados en fotografías tomadas desde estaciones situadas sobre el terreno, constituye un excelente medio auxiliar para los levantamientos topográficos clásicos, especialmente en el trazado de planos a pequeña escala de zonas montañosas y para el levantamiento de accidentes de tránsito. El trabajo consiste en esencia en tomar fotografía desde dos o más estaciones adecuadas y utilizarlas después para obtener los detalles del terreno fotografiado, tanto en planta como en alzado o perfil. Las operaciones corrientes en un levantamiento fotogramétrico en general son las siguientes:

- Estudios sobre planos disponibles de la región para planificar el trabajo, determinar las líneas de vuelo, en función de la distancia focal de la cámara, la escala de la fotografía, la superposición o traslapes de las fotografías, tanto longitudinal como transversal, el tamaño de los negativos, la altura de vuelo, etc.
- Reconocimiento del terreno a fotografiar.
- Fijación de los puntos de control terrestre básico, tanto planimétricos como altimétricos para lograr la correcta orientación y localización de los puntos sobre la fotografía.
- Toma, desarrollo, clasificación, y numeración de las fotografías.
- Ensamble de mosaicos o disposición secuencial de las fotografías en conjunto de tal manera que representen el área deseada.
- Elaboración de planos obtenidos por el sistema de restitución fotogramétrica y sus aplicaciones para proyectos de ingeniería. Actualmente se han desarrollado otros tipos de fotogrametría como la espacial o satelital, inercial y los sensores remotos, las cuales tienen aplicaciones específicas en la estrategia militar y control de itinerarios de

Generalidades de Topografía

transporte a largas distancias. Los levantamientos por satélite incluyen la determinación de la posición de sitios en el terreno utilizando imágenes de satélite para la medición y mapeo de grandes superficies sobre la tierra.

1.1.3. La Topografía Plana

El levantamiento topográfico plano tiene la misma finalidad de los levantamientos geodésicos, pero difiere en cuanto a la magnitud y precisión y por consiguiente en los métodos empleados. Esta área se encarga de la medición de terrenos y lotes o parcelas de áreas pequeñas, proyectados sobre un plano horizontal, despreciando los efectos de la curvatura terrestre. La mayor parte de los levantamientos en proyectos de ingeniería son de esta clase, ya que los errores cometidos al no tener en cuenta la curvatura terrestre son despreciables y el grado de precisión obtenido queda dentro de los márgenes permisibles desde el punto de vista práctico. Las justificaciones para no tener en cuenta la curvatura terrestre se pueden fundamentar en los siguientes datos, los cuales se pueden demostrar mediante la aplicación de principios de geometría y trigonometría esférica: La longitud de un arco de 18 Km sobre la superficie de la tierra es solamente 15 mm mayor que la cuerda subtendida por el mismo y la diferencia entre la suma de los ángulos de un triángulo plano triángulo de 200 Km² (20.000 hectáreas) y la de los ángulos de un triángulo esférico correspondiente, es de un solo segundo de arco. De lo anterior se deduce que únicamente debe tenerse en cuenta la verdadera forma de la tierra cuando el levantamiento se refiera a grandes superficies y su ejecución exija de alta precisión. Cuando se trate de determinar alturas, aún en los casos que no se requiera gran precisión, no puede despreciarse la curvatura terrestre. Supóngase un plano tangente a la superficie del nivel medio del mar en un punto dado; la distancia vertical entre dicho plano y el nivel medio del mar, a una distancia de 16 km medida a partir del punto de tangencia es de 20 metros y a una distancia de 160 km, la distancia es de dos kilómetros. Sin embargo, los trabajos de nivelación no requieren ningún trabajo adicional para referir las alturas medidas a dicha superficie esferoidal, debido a que la nivelación de los puntos consecutivos normalmente se hace a distancias cortas y cada línea visual va quedando paralela a la superficie media de la tierra.

Generalidades de Topografía

1.2. Fundamentos de la topografía plana

Debido a los grandes avances tecnológicos y científicos de las tres ramas de la topografía, cada una de ellas se ha conformado en áreas de conocimiento bien diferenciadas, aunque interrelacionadas y complementarias. Hoy día existe las profesiones de ingeniero topográfico, ingeniero geodesta e ingeniero fotogrametrista.

El enfoque de estas guías de clase está orientado hacia la topografía plana, ya que la mayor parte de los levantamientos de la topografía tienen por finalidad el cálculo de la superficie o áreas, volúmenes, distancias, direcciones y la representación de las medidas tomadas en el campo mediante los planos topográficos correspondientes. Estos planos se utilizan como base para la mayoría de los trabajos y proyectos de ingeniería relacionados con la planeación y construcción de obras civiles. Por ejemplo se requieren levantamientos topográficos, antes, durante y después de la planeación y construcción de carreteras, vías férreas, sistemas de transporte masivo, edificios, puentes, túneles, canales, obras de irrigación, presas, sistemas de drenaje, fraccionamiento o división de terrenos urbanos y rurales (particiones), sistemas de aprovisionamiento de agua potable (acueductos), eliminación de aguas negras (alcantarillados), oleoductos, gasoductos, líneas de transmisión, control de la aerofotografía, determinación de límites de terrenos de propiedad privada y pública (linderos y medianías) y muchas otras actividades relacionadas con geología, arquitectura del paisaje, arqueología, etc.

1.2.1. División básica para el estudio de la topografía plana

Para el estudio de la topografía plana se divide en dos grandes áreas que son la Altimetría y la Planimetría.

Planimetría o control horizontal

La planimetría sólo tiene en cuenta la proyección del terreno sobre un plano horizontal imaginario (vista en planta) que se supone que es la superficie media de la tierra; esta proyección se denomina base productiva y es la que se considera cuando se miden distancias horizontales y se calcula el área de un terreno. Aquí *no* interesan las diferencias relativas de las elevaciones entre los diferentes puntos del terreno. La ubicación de los diferentes puntos sobre la superficie de la tierra se hace mediante la medición de ángulos y distancias a partir de puntos y líneas de referencia proyectadas sobre un plano horizontal. El conjunto de líneas que unen los puntos observados se denomina Poligonal Base y es la que conforma la red fundamental o esqueleto del levantamiento, a partir de la cual se referencia la posición de todos los detalles o accidentes naturales y/o artificiales de interés. La poligonal base puede ser abierta o cerrada según los requerimientos del levantamiento topográfico. Como resultado de los trabajos de planimetría se obtiene un esquema horizontal.

Altimetría o control vertical

La altimetría se encarga de la medición de las diferencias de nivel o de elevación entre los diferentes puntos del terreno, las cuales representan las distancias verticales medidas a partir de un plano horizontal de referencia. La determinación de las alturas o distancias verticales también se puede hacer a partir de las mediciones de las pendientes o grado de inclinación del terreno y de la distancia inclinada entre cada dos puntos. Como resultado se obtiene el esquema vertical.

Planimetría y altimetría simultáneas

La combinación de las dos áreas de la topografía plana, permite la elaboración o confección de un "plano topográfico" propiamente dicho, donde se muestra tanto la posición en planta como la elevación de cada uno de los diferentes puntos del terreno. La elevación o altitud de los diferentes puntos del terreno se representa mediante las curvas de nivel, que son líneas trazadas a mano alzada en el plano de planta con base en el esquema horizontal y que unen puntos que tienen igual altura. Las curvas de nivel sirven para reproducir en el dibujo la configuración topográfica o relieve del terreno.

1.2.2. Operaciones o actividades del trabajo topográfico

Las actividades u operaciones necesarias para llevar a cabo un levantamiento topográfico, prácticamente se dividen en dos tipos de trabajo: trabajo de campo y trabajo de oficina.

Trabajo y operaciones de campo.

Estos consisten en las labores realizadas directamente sobre el terreno tales como:

- Toma de decisiones para la selección del método del levantamiento, los instrumentos y equipos necesarios, la comprobación y corrección de los mismos, la precisión requerida para el levantamiento.
- Determinación de la mejor ubicación de los vértices de una poligonal base o de referencia (ya sea abierta, cerrada o ramificada) que va a conformar el esqueleto o estructura del levantamiento.
- Programación del trabajo y la toma o recolección de datos necesarios, realización de mediciones (distancias, alturas, direcciones) y su correspondiente registro en libretas adecuadas, denominadas "carteras de topografía", ya sea de manera manual o electrónica.

Generalidades de Topografía

- Colocación y señalamiento de mojones de referencia para delinear, delimitar, marcar linderos, fijar puntos, guiar trabajos de construcción y controlar mediciones.
- Medición de distancias horizontales y/o verticales entre puntos u objetos o detalles del terreno, ya sea en forma directa o indirecta.
- Medición de ángulos horizontales entre alineamientos (líneas en el terreno).
- Determinación de la dirección de un alineamiento con base en una línea tomada como referencia, llamada línea terrestre o meridiana.
- Medición ángulos verticales entre dos puntos del terreno ubicados sobre el mismo plano vertical.
- Localización o replanteo de puntos u objetos sobre el terreno con base en mediciones angulares y distancias previamente conocidas.

Trabajo y operaciones de oficina o gabinete.

Como complemento a las operaciones de campo y con base en los datos medidos y registrados adecuadamente, en las operaciones de oficina se calcula en términos generales los siguientes parámetros:

- Coordenadas cartesianas de todos los puntos.
- Distancia entre puntos.
- Angulos entre dos alineamientos.
- Dirección de un alineamiento con base en una línea tomada como referencia.
- Areas de lotes, parcelas, franjas, áreas de secciones transversales.
- Cubicaciones o determinación de volúmenes de tierras.
- Alturas relativas de puntos.
- Finalmente se debe confeccionar un plano o mapa a escala (representación gráfica o dibujo) de los puntos y objetos y detalles levantados en el campo. Los planos pueden ser representaciones en planta de relieve, de perfiles longitudinales de líneas, de secciones transversales, cortes, relleno, etc.

Generalidades de Topografía

1.2.3. Hipótesis en que se basa la topografía plana.

Como se explicó, la topografía plana opera sobre porciones relativamente pequeñas de la tierra, y utiliza como plano de referencia una superficie plana y horizontal, sin tener en cuenta la verdadera su forma elipsoidal, es decir, se desprecia la curvatura terrestre. En consecuencia los principios básicos de la topografía plana se basan en las siguientes hipótesis:

- La línea que une dos puntos sobre la superficie de la tierra es una línea recta y no una línea curva
- Las direcciones de la plomada en dos puntos diferentes cualesquiera, son paralelas (en realidad están dirigidas hacia el centro de la tierra)
- La superficie imaginaria de referencia respecto a la cual se toman las alturas es una superficie plana y no curva.

El ángulo formado por la intersección de dos líneas sobre la superficie terrestre es un ángulo plano y no esférico.

1.3. Clases de Levantamientos de topografía plana

De acuerdo con la finalidad de los trabajos topográficos existen varios tipos de levantamientos, que aunque aplican los mismos principios, cada uno de ellos tiene procedimientos específicos para facilitar el cumplimiento de las exigencias y requerimientos propios. Entre los levantamientos más corrientemente utilizados están los siguientes:

1.3.1. Levantamientos de tipo general (lotes y parcelas)

Estos levantamientos tiene por objeto marcar o localizar linderos, medianías o límites de propiedades, medir y dividir superficies, ubicar terrenos en planos generales ligando con levantamientos anteriores o proyectar obras y construcciones. Las principales operaciones son:

- Definición de itinerario y medición de poligonales por los linderos existentes para hallar su longitud y orientación o dirección.
- Replanteo de linderos desaparecidos partiendo de datos anteriores sobre longitud y orientación valiéndose de toda la información posible y disponible.
- División de fincas en parcelas de forma y características determinadas, operación que se conoce con el nombre de particiones.
- Amojonamiento de linderos para garantizar su posición y permanencia.
- Referencia de mojones, ligados posicionalmente a señales permanentes en el terreno.

Generalidades de Topografía

- Cálculo de áreas, distancias y direcciones, que es en esencia los resultados de los trabajos de agrimensura.
- Representación gráfica del levantamiento mediante la confección o dibujo de planos.
- Soporte de las actas de los deslindes practicados.

1.3.2. Levantamiento longitudinal o de vías de comunicación

Son los levantamientos que sirven para estudiar y construir vías de transporte o comunicaciones como carreteras, vías férreas, canales, líneas de transmisión, acueductos, etc. Las operaciones son las siguientes:

- Levantamiento topográfico de la franja donde va a quedar emplazada la obra tanto en planta como en elevación (planimetría y altimetría simultáneas).
- Diseño en planta del eje de la vía según las especificaciones de diseño geométrico dadas para el tipo de obra.
- Localización del eje de la obra diseñado mediante la colocación de estacas a cortos intervalos de unas a otras, generalmente a distancias fijas de 5, 10 o 20 metros.
- Nivelación del eje estacado o abscisado, mediante itinerarios de nivelación para determinar el perfil del terreno a lo largo del eje diseñado y localizado.
- Dibujo del perfil y anotación de las pendientes longitudinales
- Determinación de secciones o perfiles transversales de la obra y la ubicación de los puntos de chaflanes respectivos.
- Cálculo de volúmenes (cubicación) y programación de las labores de explanación o de movimientos de tierras (diagramas de masas), para la optimización de cortes y rellenos hasta alcanzar la línea de subrasante de la vía.

Trazado y localización de las obras respecto al eje, tales como puentes, desagües, alcantarillas, drenajes, filtros, muros de contención, etc.

- Localización y señalamiento de los derechos de vía ó zonas legales de paso a lo largo del eje de la obra.

Generalidades de Topografía

1.3.3. Levantamientos de minas

Estos levantamientos tienen por objeto fijar y controlar la posición de los trabajos subterráneos requeridos para la explotación de minas de materiales minerales y relacionarlos con las obras superficiales. Las operaciones corresponden a las siguientes:

- Determinación en la superficie del terreno de los límites legales de la concesión y amojonamiento de los mismos.
- Levantamiento topográfico completo del terreno ocupado por la concesión y confeccionamiento del plano o dibujo topográfico correspondiente.
- Localización en la superficie de los pozos, excavaciones, perforaciones para las exploraciones, las vías férreas, las plantas de trituración de agregados y minerales y demás detalles característicos de estas explotaciones.
- Levantamiento subterráneo necesarios para la localización de todas las galerías o túneles de la misma.
- Dibujo de los planos de las partes componentes de la explotación, donde figuren las galerías, tanto en sección longitudinal como transversal.
- Dibujo del plano geológico, donde se indiquen las formaciones rocosas y accidentes geológicos.
- Cubicación de tierras y minerales extraídos de la excavación en la mina.

1.3.4. Levantamientos hidrográficos

Estos levantamientos se refieren a los trabajos necesarios para la obtención de los planos de masas de aguas, líneas de litorales o costeras, relieve del fondo de lagos y ríos, ya sea para fines de navegación, para embalses, toma y conducción de aguas, cuantificación de recursos hídricos, etc. Las operaciones generales son las siguientes:

- Levantamiento topográfico de las orillas que limitan las masas o corrientes de agua.
- Batimetría mediante sondas ecográficas para determinar la profundidad del agua y la naturaleza del fondo.
- Localización en planta de los puntos de sondeos batimétricos mediante observaciones de ángulos y distancias.
- Dibujo del plano correspondiente, en el que figuren las orillas, las presas, las profundidades y todos los detalles que se estimen necesarios.
- Observación de las mareas o de los cambios del nivel de las aguas en lagos y ríos.

Generalidades de Topografía

- Medición de la intensidad de las corrientes o aforos de caudales o gastos (volumen de agua que pasa por un punto determinado de la corriente por unidad de tiempo).

1.3.5. Levantamientos catastrales y urbanos

Son los levantamientos que se hacen en ciudades, zonas urbanas y municipios para fijar linderos o estudiar las zonas urbanas con el objeto de tener el plano que servirá de base para la planeación, estudios y diseños de ensanches, ampliaciones, reformas y proyecto de vías urbanas y de los servicios públicos, (redes de acueducto, alcantarillado, teléfonos, electricidad, etc.).

Un plano de población es un levantamiento donde se hacen las mediciones de las manzanas, redes viales, identificando claramente las áreas públicas (vías, parques, zonas de reserva, etc.) de las áreas privadas (edificaciones y solares), tomando la mayor cantidad de detalles tanto de la configuración horizontal como vertical del terreno. Estos planos son de gran utilidad especialmente para proyectos y mejoras y reformas en las grandes ciudades. Este trabajo debe ser hecho con extrema precisión y se basa en puntos de posición conocida, fijados previamente con procedimientos geodésicos y que se toman como señales permanentes de referencia. Igualmente se debe complementar la red de puntos de referencia, materializando nuevos puntos de posición conocida, tanto en planta en función de sus coordenadas, como en elevación, altitud o cota.

Los levantamientos catastrales comprenden los trabajos necesarios para levantar planos de propiedades y definir los linderos y áreas de las fincas campestres, cultivos, edificaciones, así como toda clase de predios con espacios cubiertos y libres, con fines principalmente fiscales, especialmente para la determinación de avalúos y para el cobro de impuesto predial.

Las operaciones que integran este trabajo son las siguientes:

- Establecimiento de una red de puntos de apoyo, tanto en planimetría como en altimetría.
- Relleno de esta red con tantos puntos como sea necesario para poder confeccionar un plano bien detallado.
- Referenciación de cierto número de puntos especiales, tales como esquinas de calles, con marcas adecuadas referido a un sistema único de coordenadas rectangulares.
- Confección de un plano de la población bien detallado con la localización y dimensiones de cada casa.
- Preparación de un plano o mapa mural.

Generalidades de Topografía

- Dibujo de uno o varios planos donde se pueda apreciar la red de distribución de los diferentes servicios que van por el subsuelo (tuberías, alcantarillados, cables telefónicos, etc.).

Generalidades de Topografía

1.4. Errores de las Mediciones Topográficas

Todas las operaciones en topografía están sujetas a las imperfecciones propias de los aparatos, dispositivos o elementos, a la capacidad propia de los operadores de los mismos y a las condiciones atmosféricas; por lo tanto ninguna medida en topografía es exacta en el sentido de la palabra. No hay que confundir los errores con las equivocaciones. Mientras que los errores siempre están presentes en toda medición debido a las limitaciones aludidas, las equivocaciones son faltas graves ocasionadas por descuido, distracción, cansancio o falta de conocimientos. El equivocarse es de humanos, pero en topografía se debe minimizar o eliminar, ya que esto implica la repetición de los trabajos de campo, lo cual incrementa el tiempo y los costos, afectando la eficiencia y la economía.

Es necesario conocer los tipos y la magnitud de los errores posibles y la manera como se propagan para buscar reducirlos a un nivel razonable que no tenga incidencias nefastas desde el punto de vista práctico. Los errores deben quedar por debajo de los errores permisibles, aceptables o tolerables para poder garantizar los resultados los cuales deben cumplir un cierto grado de precisión especificado. El error es la discrepancia entre la medición obtenida en campo y el valor real de la magnitud. Las causas de los errores pueden ser de tres tipos:

Instrumentales: debido a la imperfección en la construcción de los aparatos o elementos de medida, tales como la aproximación de las divisiones de círculos horizontales o verticales, arrastre de graduaciones de un tránsito o teodolito, etc.

Personales: debido a limitaciones de los observadores u operadores, tales como deficiencia visual, mala apreciación de fracciones o interpolación de medidas, etc.

Naturales: debido a las condiciones ambientales imperantes durante las mediciones tales como el fenómeno de refracción atmosférica, el viento, la temperatura, la gravedad, la declinación magnética, etc.

Cuando se hacen cálculos a partir de mediciones hechas en campo, las cuales ya tienen errores, se presenta la propagación de esos errores, que se pueden magnificar y conducir a resultados desagradables o no esperados. Para el estudio de los errores se dividen en dos tipos: sistemáticos y accidentales.

Con el fin de alcanzar un léxico mínimo y contar con un lenguaje común de topografía, es necesario partir de las definiciones básicas, algunas clasificaciones y divisiones. Este capítulo tendrá un carácter introductorio y servirá como táctica para romper el hielo antes de entrar en materia. Se pretende dar una visión global de la asignatura para familiarizar al estudiante con los fundamentos de esta disciplina de la ingeniería y a la vez aprender algunos elementos conceptuales mínimos que le faciliten la comprensión y

Generalidades de Topografía

asimilación de los temas siguientes. La lectura de este capítulo dejará inicialmente algunas inquietudes y dudas, posiblemente alguna falsa interpretación, pero se espera que una vez finalizado el curso y al volver a leer este capítulo, se tendrá una mejor comprensión, asociación y asimilación de todos los tópicos presentados.

1.4.1. Errores Sistemáticos o Acumulativos

Son los que para condiciones de trabajo fijas en el campo son constantes y por lo tanto son acumulativos, tales como la medición de ángulos con teodolitos mal graduados, cuando hay arrastre de graduaciones. En la medición de distancias y desniveles con cinta mal graduadas, cintas inclinadas, errores en la alineación, errores por temperatura tensión en las mediciones con cinta, etc. Los errores sistemáticos se pueden corregir si se conoce la causa y la manera de cuantificarlo mediante la aplicación de leyes físicas.

1.4.2. Errores accidentales, aleatorios o compensatorios

Son los que se cometen indiferentemente en un sentido o en otro, están fuera del control del observador, es decir que las mediciones pueden resultar mayores o menores a las reales. Existe igual probabilidad que los errores sea por exceso o por defecto (positivos o negativos). Tales errores se pueden presentar en los siguientes casos: apreciación de fracciones en lecturas angulares en graduaciones de nonios o vernieres, visuales descentradas de la señal por oscilaciones del cordel de la plomada, interpolación en medición de distancias, colocación de marcas en el terreno, etc.

Muchos de estos errores se eliminan porque se compensan, se reducen con un mayor cuidado en las medidas y aumentando el número de repeticiones de la misma medida. Los errores aleatorios quedan aún después de hacer la corrección de los errores sistemáticos.

1.5. Clases y Unidades de las Mediciones en Topografía

Las distancias horizontales o inclinadas se miden de manera directa con cintas de acero, o de manera indirecta con medidores electrónicos de distancias o EDM, (Electronic Distance Meter). Debido al uso generalizado de éstos últimos equipos, en virtud de su precisión y rapidez, las cintas se usan cada vez menos y solo para distancias muy cortas. También hay métodos indirectos y rápidos para la medición de estas distancias, conocidos como taquimétricos o estadimétricos.

Para la medición de elevaciones se utilizan los niveles de topografía, que permiten determinar las diferencias de altura entre puntos consecutivos. La diferencia de alturas entre dos puntos del terreno también se puede obtener mediante la medición de la distancia inclinada y la pendiente entre ellos, y la aplicación de elementales principios de la trigonometría.

Generalidades de Topografía

La medición de ángulos horizontales y verticales se miden con tránsitos o teodolitos, que posibilitan la lectura de ángulos con altas precisiones y fracciones muy pequeñas de grado.

Las aplicaciones de topografía incluyen la medición o determinación de longitudes, elevaciones, áreas, volúmenes y ángulos, los cuales requieren la utilización de un sistema de unidades consistentes.

1.5.1. Unidades Lineales

Las unidades lineales se utilizan para la medición de longitudes y elevaciones (distancias horizontales o inclinadas y distancias verticales) utilizan el sistema métrico conocido como el sistema internacional de unidades o simplemente SI, el cual se basa en el sistema decimal (múltiplos de 10) y la unidad base es el metro.

El metro se definió originalmente como la diez millonésima parte de la distancia meridional desde el Ecuador hasta el polo norte o hasta el polo sur, lo cual es una medida poco práctica para los usuarios. Posteriormente se utilizaron barras de acero con marcas que definían la longitud equivalente a un metro. El metro patrón o estándar más reciente es la distancia entre dos marcas en una barra de 90% de platino y 10% de iridio, el cual es más estable que la barra de acero, pero aún así, todavía esta barra está sujeta a cambios o variaciones de longitud a través del tiempo. En 1.960 cuando se descubrió que la longitud de onda espectroscópica de ciertos elementos gaseosos era excepcionalmente estable, el metro se redefinió la longitud equivalente a 1'650.763,73 longitudes de onda de la porción rojo - naranja del espectro producido por la luz del Criptón 86, un gas atmosférico raro. En 1.983 la Confederación General de Pesos y Medidas definió el metro como la longitud de un haz de luz que viaja en el vacío en un tiempo de 1/299.792.458 segundos.

1.5.2. Unidades de Area

Las unidades de área se usan para medir superficies y se expresan en metros cuadrados (m^2). Sin embargo, en nuestro medio, en las medidas de agrimensura para las áreas de lotes y parcelas, normalmente se emplea la hectárea (ha) y la fanegada (fan). Para grandes extensiones se usa el kilómetro cuadrado (Km^2).

La hectárea es equivalente a un cuadrado de 100 metros de lado o $10.000 m^2$. Como un kilómetro cuadrado equivale a un cuadrado de 1000 metros de lado, se deduce que un kilómetro cuadrado equivale a 100 hectáreas. Una fanegada equivale a un cuadrado de 80 metros de lado o sea $6.400 m^2$.

Generalidades de Topografía

1.5.3. Unidades de Volumen

La unidad de volumen es el metro cúbico (m^3). Los volúmenes se utilizan para la cuantificación de los movimientos de tierra en las explanaciones que se requieren hacer para la construcción de proyectos u obras de ingeniería. Igualmente la producción de los equipos que ejecutan los movimientos de tierra o transportan el material excavado se expresa normalmente en m^3 /Hora, aunque en los manuales de rendimientos de los equipos americanos de movimientos de tierras, los volúmenes vienen en yardas cúbicas, se puede hacer fácilmente la equivalencia, mediante el factor de conversión respectivo (1 yarda cúbica = $0.7646 m^3$). Para los aforos de caudales en pequeñas corrientes se suele emplear como unidad de volumen, el litro o decímetro cúbico. Un metro cúbico es equivalente a mil litros.

1.5.4. Unidades Angulares

Las unidades para las mediciones angulares, tanto horizontales como verticales se basan en los sistemas sexagesimales o centesimales. Las medidas angulares en el sistema sexagesimal corresponden a las divisiones de un círculo de 360 grados y un cuarto de círculo o cuadrante equivale a 90 grados. Estas unidades se llaman grados sexagesimales. A su vez cada grado se divide en 60 minutos y cada minuto en 60 segundos, es decir, que un grado tiene 3600 segundos, por ejemplo un ángulo de $65^\circ 45' 36''$. El sistema sexagesimal utiliza las mismas unidades que se emplean para expresar el tiempo en función de horas, minutos y segundos.

El sistema centesimal es una aplicación del sistema decimal. Aquí el círculo se ha dividido en 400 unidades, de tal manera que un cuarto de círculo o cuadrante equivale a 100 unidades, estas unidades se llaman grads, gones o simplemente grados centesimales, los cuales a su vez se subdividen centesimalmente. Por ejemplo: 45.2356 grad o gones. Un grad o gon es exactamente 0.9 grados sexagesimales, por lo que el factor de conversión es de $0.9^\circ \text{Sexagesimal} / ^\circ \text{Centesimal}$.

1.6. Escalas

Para dibujar los resultados de cualquier levantamiento topográfico en un plano, es necesario utilizar el concepto de escala, la cual representa la relación entre el número de unidades de longitud en el plano y el número de unidades de longitud en el terreno. Para expresar el valor de la escala de un plano o dibujo se puede hacer en palabras, en forma gráfica o por fracciones representativas. La escala puede ser de ampliación o de reducción. En topografía normalmente se utilizan escalas de reducción, debido a que las dimensiones medidas en los levantamientos son mucho mayores que el tamaño del papel donde se va a dibujar el objeto medido, pero tienen el inconveniente que no se pueden representar los detalles. En mediciones de objetos diminutos, si se emplean escala de ampliación o de aumento, son bien detallados pero no se pueden

Generalidades de Topografía

representar muchos objetos en el mismo plano. Las escalas grandes son utilizadas por arquitectos para representación de detalles como puertas, ventanas y detalles constructivos especiales.

1.6.1. Metodos de dar Escala

En palabras

La escala en palabras, se expresa relacionando el número de unidades en el plano o dibujo (generalmente una unidad) respecto al número de unidades que representa en el terreno. Por ejemplo: un centímetro en el plano equivale a 10 kilómetros en el terreno, la cual indica que es una escala pequeña, debido a la reducción significativa en las dimensiones. Otra escala puede ser por ejemplo que 1 cm en el plano equivale a medio metro en el terreno, la cual representa una escala grande.

En escala gráfica

Se representa mediante una línea o barra dibujada en el mismo plano del levantamiento topográfico, con unas divisiones que representan la relación de unidades en el plano a unidades en el terreno. Puede ser abierta o plena. Normalmente la primera división de la escala gráfica tiene unas subdivisiones más pequeñas o secundarias y el resto de divisiones se llaman divisiones primarias. Todo plano debe llevar una escala gráfica, ya que si se hace una reducción o ampliación del dibujo, la escala gráfica lo hará proporcionalmente, facilitando la medición a escala entre dos puntos cualesquiera en el plano reducido o ampliado



Por una fracción representativa

Es el método corrientemente utilizado para indicar la escala en forma numérica. La fracción tiene por numerador el número de unidades en el plano que por lo general siempre es uno (1) y por denominador el número de unidades equivalentes en el terreno. Ejemplo: La escala 1/100 ó 1:100. Esta escala significa que un (1) centímetro en el plano representa 100 centímetros en el terreno, ó que una (1) pulgada en el plano equivale a 100 pulgadas en el terreno. Como se deduce la escala expresada mediante fracción representativa es adimensional, o lo que es lo mismo, las unidades del numerador y del denominador deben ser iguales.

Las escalas expresadas anteriormente en palabras, al convertirlas en fracciones representativas quedarían de la siguiente forma:

1 cm en el plano ° 10 Km en el terreno: 1 cm en el plano ° 1000000 cm en el terreno, es decir la escala numérica sería 1: 1'000.000.

Generalidades de Topografía

1 cm en el plano \circ 0.5 metros en el terreno: 1 **cm** plano \circ 50 **cm** en el terreno, es decir la escala numérica es: 1:50

Si la fracción de escala o escala numérica se expresa de la forma 1:E, al valor de E se le conoce como el factor de escala.

Fracción de Escala = 1 / Factor de Escala = Número de Unidades en el plano(1) / Número de unidades en el terreno

En términos generales la magnitud de las escalas para los trabajos de topografía puede ser del siguiente orden de magnitud:

- Escalas pequeñas: Mayores de 1:10.000
- Escalas intermedias entre 1:10.000 y 1:1.000
- Escalas grandes, menores de 1:1.000

Para el dibujo de planos de levantamiento de planos catastrales, se suelen emplear escalas de 1:10.000, para ciudades escalas de 1:50.000, para departamentos de 1:500.000 y escalas geográficas mayores de 1:500.000. En realidad la escala depende del tamaño del terreno a representar y del tamaño de la hoja de papel en la cual se va a dibujar el plano.

1.6.2. Conversión de Areas por Fracciones Representativas

Cuando se mide el área de un lote en un plano, directamente en un plano, ya sea dividiéndolo en figuras geométricas conocidas (triángulos, rectángulos, trapecios, etc.) o utilizando un planímetro ya sea mecánico o electrónico, se obtiene el área en el plano en cm^2 o en mm^2 . Para obtener el área real en el terreno es necesario tener en cuenta el factor de escala E, que se tuvo en cuenta para la confección del dibujo respectivo. Por ejemplo suponga que se midió un rectángulo de 12 cm x 15 cm en el plano, lo que arroja un área de 180 cm^2 , si la escala del plano es de 1:500, o lo que es lo mismo que el factor de Escala es de 500, significa que cada una de las dimensiones en el plano equivale a quinientas veces la distancia medida en el terreno. Por lo tanto:

Area en el terreno = $(12 \times 500)(15 \times 500) = 12 \times 15 \times (500)^2 = 45'000.000 \text{ cm}^2 = 4.500 \text{ m}^2$

De la expresión anterior se deduce que la expresión general para la conversión de áreas por fracciones representativas, utilizando un sistema consistente de unidades es la siguiente:

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

Generalidades de Topografía

Donde:

A_t = Area en el terreno

A_p = Area medida en el plano

F_e = Factor de escala

1.7. Definición de algunos otros términos

Con el fin de facilitar la comprensión de los temas anteriores se presentará un pequeño glosario de términos

1.7.1. Grado de Precisión

La precisión representa la posibilidad de repetición entre varias medidas de la misma cantidad. La concordancia entre varios valores medidos de una misma cantidad implica precisión, pero no exactitud. La medida de acercamiento de la medición al valor medio se expresa como precisión de la medida y el acercamiento al valor real exactitud. Hay muchos grados de precisión según sea el objeto del trabajo. El grado de precisión que se obtiene en una medición de campo depende de la sensibilidad del equipo, de la destreza del observador y de las condiciones ambientales imperantes.

El grado de precisión lineal para una medición de distancia viene expresado de la forma 1:K, donde K es un número especificado que representa la longitud medida en la cual se comete un error unitario. Por ejemplo, un grado de precisión obtenido en una medición lineal de 1:1.000, significa que cada 1000 metros medidos se comete un error de un metro, o lo que es lo mismo que por cada metro medido se comete un error de un milímetro. Para garantizar el resultado de las mediciones, el grado de precisión obtenido en campo debe compararse con un valor del grado de precisión especificado, el cual está dado para los diferentes tipos de levantamientos topográficos.

En el caso de las mediciones angulares en poligonales cerradas, el grado de precisión se obtiene calculando el error de cierre angular (diferencia entre el valor de los ángulos observados y el valor teórico), y comparándolo con el valor máximo especificado, denominado error de cierre angular máximo permisible.

1.7.2. Comprobaciones de Campo

En todos los trabajos topográficos se debe buscar la manera de comprobar las medidas por más de un procedimiento, ya que al emplear el mismo método o la misma persona es muy fácil incurrir en el mismo tipo de error. Igualmente los cálculos elaborados deben tener chequeos aritméticos y comprobaciones con el objeto de determinar los errores o descubrir las equivocaciones para corregirlas o tomar la decisión de repetir las mediciones. Luego si se determina el grado de precisión obtenido. No hay resultados que merezcan confianza,

Generalidades de Topografía

mientras no se haya comprobado y no debe considerarse una medida como bien hecha hasta que no haya sido comprobada. Durante las mediciones se comente errores tanto en distancia como en ángulo. La magnitud del error se obtiene comparado el valor observado con el valor esperado o teórico y se conoce con el nombre de error de cierre.

1.7.3. Notas de Registro de Campo y Tipos de Carteras

La parte más importante del trabajo de campo es la toma de datos de las mediciones angulares o lineales y su registro correspondiente en unas libretas especiales que se llaman "carteras". Las notas de campo corresponden al registro permanente del levantamiento, se llevan "en limpio" y como tal deben aparecer con toda claridad y pulcritud, deben contener la mayor cantidad de datos, descriptivos, complementarios posibles, para evitar confusiones, y deben tener una interpretación fácil y única por cualquier persona que entienda el trabajo topográfico, ya que es muy común que los cálculos y dibujos sean realizados por personas diferentes a las que hicieron el trabajo de campo.

Los datos de campo no solo son numéricos, sino que consisten también en notas aclaratorias u observaciones, croquis o "monos" del levantamiento y esquemas de alineamientos, se toman con lápiz, aunque después haya que pasarlos a tinta. Se consideran como un archivo permanente del levantamiento.

Otros datos que deben aparecer en la portada son el nombre de la entidad, nombre y misión de los miembros de la brigada de topografía, finalidad del levantamiento, referencia del lugar, fechas de iniciación, terminación y entrega del trabajo. Igualmente se debe registrar el estado del tiempo, los equipos o instrumentos utilizados y las especificaciones generales de los equipos, como marca, modelo, aproximación o sensibilidad, etc.

Las carteras de campo son libretas de diseño especial, de buena calidad, que resisten el uso fuerte y prolongado durante el trabajo de campo. Los diferentes tipos de cartera dependen del tipo de anotaciones o de trabajo topográfico que se vaya a realizar. Cada una de sus páginas tendrá un rayado tanto horizontal como vertical y los encabezamientos pertinentes. Los tipos de carteras de uso corriente en los trabajos de topografía son los siguientes:

Carteras de Tránsito

Son las que se utilizan para los levantamientos planimétricos de tipo general. La página del lado izquierdo se hallan divididas en varias columnas con un rayado horizontal por filas, donde se registran los datos numéricos de las mediciones y las observaciones correspondientes. Cada columna tiene un encabezado que indica el tipo de medida o anotación. En la página derecha está cuadrículada y con una línea roja vertical por el centro de la página. En esta página se dibujan los croquis, esquemas de alineamientos, esquemas de mediciones angulares, direcciones, referencias de vértices o estaciones y se colocan las notas u observaciones aclaratorias correspondientes.

Carteras de Nivel

Se utilizan para el registro de las mediciones o lecturas hechas con los equipos apropiados (niveles topográficos y miras), para la determinación de las alturas de puntos con una posición definida en el terreno. Las dos páginas (izquierda y derecha) vienen divididas en columnas con un rayado horizontal más espaciado.

Carteras para toma de Topografía.

Se utilizan para el registro de las operaciones de nivelación de parcelas, lotes o franjas de terreno, donde se indica la posición relativa de puntos de igual cota, puntos de quiebre del terreno o de puntos a distancias fijas medidas desde una línea de referencia y que se utilizan para la representación gráfica de la configuración topográfica o relieve del terreno. Las dos páginas vienen cuadrículadas y en cada página se marcan cuatro columnas con líneas de división resaltadas. La columna central entre páginas representa el eje del alineamiento y las páginas izquierda y derecha se utilizan para el registro de las mediciones a lado y lado del eje.

Cartera de chaflanes

Se utilizan para el registro de datos de secciones transversales de obras longitudinales tales como carreteras y canales y que para su construcción sea necesario realizar explanaciones y movimientos de tierra. El rayado y el encabezamiento están diseñados para registrar el abscisado y pendientes del eje, datos de las secciones transversales como las alturas de cortes y rellenos, puntos de quiebre y posición de los puntos de chaflanes, áreas de secciones transversales, volúmenes de tierra entre abscisas.

Carteras electrónicas.

Los teodolitos modernos y estaciones totales vienen equipados con un dispositivo recolector automático de datos, que son del tamaño de una calculadora o vienen directamente incorporados al equipo, que guardan magnéticamente los datos, tales como la identificación de puntos, distancias y ángulos horizontales y verticales y algunas anotaciones descriptivas. Estos datos pueden ser transferidos a un archivo de computador vía interfaz directa o vía módem para su posterior procesamiento. Las carteras electrónicas tienen la ventaja de eliminar las equivocaciones en la lectura y registro de ángulos y distancias y reducir el tiempo de digitación y procesamiento, pero existe siempre el riesgo del borrado accidental de los datos.

1.7.4. Superficies de Nivel

Si se supone que se puedan eliminar todas las irregularidades de la superficie terrestre se obtendrá una superficie imaginaria esferoidal, cada uno de cuyos elementos sería normal o perpendicular a la dirección de la plomada en el mismo. A la superficie de esta clase que corresponde a la altura media del mar se llama "nivel medio del mar" y es la superficie de referencia para las nivelaciones y mediciones topográficas. En realidad es un arco pero para efectos de la topografía se asume como superficie de referencia la cuerda subtendida por él.

1.7.5. Planos, líneas y Angulos Horizontales

Un plano horizontal es un plano tangente o paralelo a una superficie de nivel y representa la base productiva para la proyección de todos los puntos medidos en el terreno.

Una línea horizontal es una línea contenida en un plano horizontal y por lo tanto tangente a una superficie de nivel. En topografía se sobreentiende que toda línea horizontal es una recta. En las aplicaciones planimétricas de la topografía (cálculo y dibujo) solo se consideran las distancias horizontales. En caso de que se midan distancias inclinadas debe hacerse la respectiva reducción al horizonte o cálculo de la proyección horizontal de la medida.

Un ángulo horizontal es el formado por dos líneas rectas situadas en un plano horizontal. El valor del ángulo horizontal se utiliza para definir la dirección de un alineamiento a partir de una línea que se toma como referencia.

1.7.6. Planos, líneas y Angulos Verticales (cenit, elevación, depresión)

Un plano vertical es un plano perpendicular a un plano horizontal. Una línea vertical está contenida en un plano vertical pero que es normal a un plano horizontal, sobre esta línea se miden las diferencias de nivel entre puntos. Los ángulos verticales también están contenidos en un plano vertical, pero se miden con respecto a una línea vertical o con respecto a una línea paralela a una superficie de nivel.

El ángulo vertical sirve para definir el grado de inclinación de un alineamiento sobre el terreno. Si se toma como referencia la línea horizontal, el ángulo vertical se llama ángulo de pendiente, el cual puede ser positivo o de elevación o negativo o de depresión, y este es el ángulo que se conoce como pendiente de una línea, el cual puede ser expresado tanto en ángulo como en porcentaje.

Si se escoge como referencia el extremo superior de la línea vertical, el ángulo se llama cenital y si es el extremo inferior el ángulo se llama nadiral. El cenit es un punto perpendicular a la superficie de la tierra. El punto opuesto al Cenit es el Nadir.

Generalidades de Topografía

1.7.7. Altura, Cota o elevación de un punto

La altitud de un punto es la distancia vertical medida desde el nivel medio del mar. Si la distancia vertical se mide desde cualquier otro plano tomado como referencia usualmente se le denomina cota.

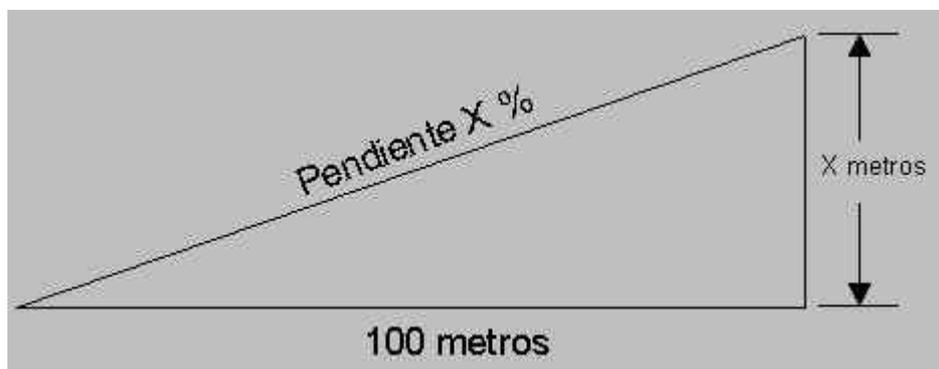
El desnivel entre dos puntos está dado por la diferencia de altitud o cota entre dichos puntos.

1.7.8. Curvas de Nivel

Son líneas que se trazan en los planos de planta con el fin de representar el relieve o configuración topográfica de un terreno. Una curva de nivel une puntos del terreno que tienen igual cota o altura, por lo tanto representan la intersección del terreno con un plano horizontal. La separación entre las curvas de nivel en el plano de planta, como es obvio, representa la distancia horizontal entre ellas y la distancia o intervalo vertical se deduce por diferencia de las cotas anotadas. La cota o altura de una curva de nivel es la cota o altura del plano horizontal que la contiene.

1.7.9. Pendiente de una Línea

La pendiente de una línea está definida como la tangente del ángulo que forma con la horizontal, la cual se puede expresar tanto en grados como en porcentaje.



1.7.10. Vértices, Estaciones y Estacas

Un vértice se forma en la intersección de dos líneas, como el que se presenta en un ángulo o en una esquina de una poligonal abierta o cerrada. Si en un trabajo topográfico, se instala un aparato topográfico, tal como un teodolito o tránsito, directamente sobre un vértice, a este punto se le llama estación. Los vértices, estaciones y demás puntos auxiliares que se requieren durante las operaciones de campo del levantamiento topográfico de deben materializar ya sea en forma permanente o provisional. Normalmente se distinguen los siguientes tipos de puntos:

Generalidades de Topografía

Puntos Instantáneos: Son los que se necesitan momentáneamente durante el desarrollo de las operaciones de campo, para dejar una marca provisional de referencia para la continuidad de las mediciones y orientación de las alineaciones.

Los elementos que se utilizan son los piquetes o fichas que son varillas que tienen forma de argolla y una punta de 25 a 35 cm de altura. También se utilizan jalones o balizas que son varas de 2 a 3 metros, construidos en madera o metálicos, con divisiones alternadas de rojo y blanco de 20 cm, con un refuerzo de acero en la punta llamado regatón metálico.

Puntos transitorios: Son los puntos que deben permanecer durante todo el tiempo que demande el trabajo de campo y es deseable que se conserven hasta la etapa de construcción de las obras. En la mayoría de los casos, estas estacas se pierden en ese lapso o son arrancadas en las labores de descapote al iniciar la construcción. Normalmente son estacas, que pueden ser de los siguientes tipos:

- Tacos de tránsito: son estacas de corta longitud, entre 8 y 12 cm, con grosor de cinco (5) cm que se utilizan para señalar las estaciones o sitios donde se instala un teodolito, llevan tachuela clavada en la parte superior y se hincan a ras del piso. Si el terreno donde se va a colocar es muy suelto hay necesidad de colocar estacas de mayor longitud, de alrededor de 30 cm.

- Estacas testigo: Son estacas de 30 cm de largo con una cara labrada para anotar la identificación de un punto que se encuentra a ras del piso.

- Estacas de nivel: Se utilizan para los puntos de cambio en las operaciones de nivelación diferencial, para fijar la posición de un punto provisional de altura conocida.

- Estacas de Chaflán: Se utilizan en las operaciones de campo para la marcar los puntos a partir de los cuales se deben iniciar las operaciones de movimientos de tierra, ya sean cortes o relleno en una obra de ingeniería. También son estacas de 30 cm de longitud con dos caras labradas, donde van anotadas la distancia del punto del chaflán a un eje de referencia y la altura del terraplén o la profundidad del corte. Un punto de chaflán representa la intersección del terreno natural con la superficie de un talud diseñado para una obra civil.

Puntos definitivos: Son los puntos que quedan fijos o permanentes aún después del levantamiento topográfico, antes, durante y después de los trabajos de construcción y que se utilizan conjuntamente con otras referencias para volver a colocar en la misma posición a los puntos transitorios del levantamiento topográfico que se han perdido o arrancado. A esta operación se le llama replanteo. Los puntos definitivos pueden ser de dos tipos:

Generalidades de Topografía

Naturales: Son puntos que se encuentran materializados en el terreno, tales como intersección de orillas de ríos, carreteras, caminos, rocas, piedras grandes, prominencia de cerros, etc.

Artificiales: Son paralelepípedos de concreto prefabricados o fundidos in situ denominados mojones, los cuales quedan enterrados dejando 5 cm por fuera de la superficie o enterrados completamente con una tapa de protección. Si el terreno es muy suelto se coloca además una varilla de fijación. Sobre el mojón se dejan embebidos placas de bronce o elementos que identifiquen el mojón respectivo y su posición relativa (coordenadas y altura).

1.7.11. Referencias de un punto Topográfico

Son las mediciones de distancias y ángulos que se hacen en el campo, desde un punto notable de un levantamiento topográfico (vértice o estación) hasta un detalle estable y permanente con el fin de definir la posición relativa del punto. Estas medidas sirven posteriormente para replantear el punto, en caso de que se llegue a perder.

1.8. Dirección de Alineamientos

Un alineamiento en topografía se define como la línea trazada y medida entre dos puntos sobre la superficie terrestre. No se debe confundir con alineación, la cual es el conjunto de operaciones de campo que sirven para orientar o guiar las mediciones de las distancias, de tal manera que los puntos intermedios utilizados siempre queden sobre el alineamiento.

La dirección de un alineamiento siempre se da en función del ángulo horizontal que se forma entre el alineamiento y una línea que se toma como referencia. La dirección se mide siempre en planta o en un plano horizontal. Hay varias formas de dar la dirección de una línea:

- El ángulo que forma la línea con el alineamiento adyacente, indicando el sentido del ángulo medido, ya sea en forma horaria, en el sentido de la manecilla del reloj o positivo (+) o en sentido antihorario, contrario a las manecillas del reloj o negativo (-).
- El ángulo que forma cada uno de los alineamientos con respecto a una sola línea de referencia, denominado "meridiano de referencia". Este es el método corrientemente utilizado.

1.8.1. Tipos de Meridianos de Referencia

Los meridianos de referencia para la medición de la dirección u orientación en planta de un alineamiento en topografía pueden ser de varios tipos: verdaderos, magnéticos y arbitrarios.

Generalidades de Topografía

Meridiano geográfico verdadero

Es una línea orientada a lo largo de los polos geográficos de la tierra y se determinan mediante observaciones astronómicas. Estos meridianos tienen permanentemente una orientación constante o fija.

Meridianos magnéticos

Son líneas orientadas en la dirección de los polos magnéticos de la tierra y es la dirección que da la brújula. La orientación de estas línea no es constante debido a que el polo norte magnético no tiene posición fija y se va desplazando lentamente a través del tiempo. El meridiano magnético sufre diferentes tipos de variaciones: Seculares (cada 300 años), anuales, diarias, irregulares y lunares. Las direcciones magnéticas son los que se determinan con ayuda de una brújula.

La brújula tiene una aguja imantada apoyada en el centro sobre un pivote, que le permite girar libremente y se orienta por las fuerzas de atracción de los polos magnéticos de la tierra, indicando directamente la dirección norte sur.

La diferencia que existe entre el meridiano verdadero y el meridiano magnético se conoce con el nombre de declinación magnética. Esta desviación puede ser por la izquierda o declinación Oeste (W), o por la derecha Declinación Este (E). La declinación magnética varía según la posición de la línea sobre la superficie de la tierra. Si en una gran zona de la tierra, se trazan líneas que unen puntos de igual declinación magnética, se conoce con el nombre de planos de líneas isogónicas o planos isogónicos. Las líneas de declinación magnética cero, se llaman líneas agónicas, es decir que allí los meridianos verdadero y magnéticos coinciden.

La aguja de la brújula también es atraída verticalmente inclinándose hacia el lado del polo que está más cerca, por eso la aguja de las brújulas llevan un contrapeso en un extremo por el lado opuesto del hemisferio donde se ubique el sitio de trabajo. Si en un plano de una zona de la tierra se unen puntos que tienen igual inclinación magnética, se denominan planos de líneas isoclínicas.

Meridianos arbitrarios:

Cuando en un levantamiento topográfico no se tiene la orientación de ninguno de los anteriores meridianos y el trabajo a realizar no lo exigen, se puede adoptar cualquier línea como referencia para la medición todas las direcciones de las líneas que sean necesarias para hacer el levantamiento topográfico respectivo. El meridiano de referencia arbitrario puede ser la línea del punto inicial a una torre, un árbol o a cualquier otro detalle que se pueda materializar fácilmente en el campo.

1.8.2. Conceptos de Azimut y Rumbo

La dirección de los alineamientos en topografía se dan en función del ángulo que se forma con el meridiano de referencia y puede ser de dos tipos: azimutes o rumbos.

Azimut de un alineamiento

Es el ángulo horizontal medido en el sentido de las manecillas del reloj a partir del extremo superior de un meridiano, conocido comúnmente como NORTE, hasta el alineamiento respectivo. Su valor puede estar entre 0 y 360° en el sistema sexagesimal o entre 0 y 400 gones en el sistema centesimal.

Rumbo de un alineamiento

Es el ángulo horizontal que el alineamiento dado forma con respecto al meridiano de referencia, medido con la línea de los extremos norte ó sur, según la orientación que tenga dicho alineamiento. Se expresa como un ángulo de 0 a 90°, indicando el cuadrante en el cual se encuentra situado.

Para calcular los rumbos a partir de los azimutes se emplean las obvias relaciones deducidas en la figura siguiente y que se presenta en la Tabla que la acompaña.

Generalidades de Topografía

Conversión de Azimutes a rumbos

Valor del Azimut	Valor del Rumbo
$Az^\circ = 0^\circ = 360^\circ$	Norte (N)
$0^\circ < Az^\circ < 90^\circ$	N Az° E
$Az^\circ = 90^\circ$	Este (E)
$90^\circ < Az^\circ < 180$	S $(180 - Az^\circ)$ E
$Az^\circ = 180^\circ$	Sur (S)
$180^\circ < Az^\circ < 270^\circ$	S $(Az^\circ - 180)$ W
$Az^\circ = 270^\circ$	Oeste (W)
$270 < Az^\circ < 360^\circ$	N $(360 - Az^\circ)$ W

Contrazimut de un alineamiento

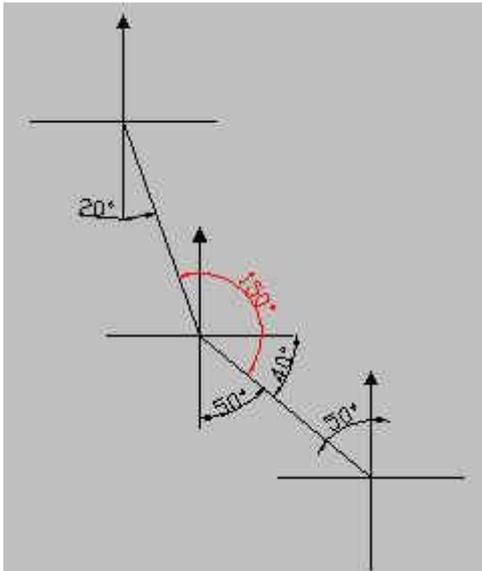
El contrazimut de un alineamiento es el azimut observado desde el otro extremo del mismo. En la Figura se ilustran los casos posibles que se pueden presentar. Como se puede deducir, el contrazimut de una lineamiento se puede calcular por la siguiente expresión:

$$\text{Contrazimut de un alineamiento} = \text{Azimut del alineamiento} \pm 180^\circ.$$

Se aplica el signo (+) si el azimut del alineamiento es menor a 180° y el signo (-) si el azimut es igual o mayor de 180° .

Contrarumbo o rumbo inverso de un alineamiento

El contrarumbo de un alineamiento es el rumbo de ese alineamiento medido en sentido contrario. En la Figura se ilustran los casos posibles. Se deduce fácilmente que el contrarumbo de una lineamiento, tiene el mismo valor numérico que su rumbo, pero cuadrante opuesto. Son cuadrantes opuestos el NW con el SE y el NE con el SW.



1.8.3. Tipos de ángulos Horizontales medidos en los vértices de poligonales

Una poligonal en topografía se entiende como una sucesión de alineamientos, que puede ser abierta o cerrada y que sirven de esquema geométrico de referencia para los levantamientos topográficos. En cada uno de los vértices se pueden medir tres tipos de ángulos: Ángulos de derecha, ángulos de izquierda y ángulos de deflexión o de giro.

- **Ángulos de derecha:** Son los ángulos medidos en el sentido horario o de las manecillas del reloj, los cuales se consideran de signo positivo, ya que tienen el mismo sentido del azimut.
- **Ángulos de izquierda:** Son los ángulos medidos en sentido antihorario o contrario al de las manecillas del reloj. Se consideran de signo negativo por ir en sentido contrario al azimut.
- **Ángulos de deflexión o de giro:** Son los ángulos medidos entre la prolongación del alineamiento anterior y el alineamiento siguiente y puede ser de sentido izquierdo I(-) ó derecho D(+).
- Mientras que los ángulos de derecha e izquierda están entre 0° y 360° , los ángulos de deflexión o de giro están entre 0° y 180° . Si un ángulo de deflexión medido hacia la derecha diera mayor de 180° , por ejemplo 200° D, se debe considerar como 160° o de izquierda.

1.9. Posición Relativa de puntos en el Terreno

Se sabe que una de las finalidades de la topografía plana es la determinación de la posición relativa de los puntos sobre el terreno, tanto en planta como en alzado, elevación o perfil.

Generalidades de Topografía

Si se conoce la posición y orientación de una línea dada AB y se desea conocer la posición relativa del punto P, se pueden emplear los siguientes métodos:

Radiación: Medición de un ángulo y una distancia tomados a partir de un extremo de la línea de referencia.

Trilateración: Medición de las dos distancias tomadas desde los dos extremos de la línea de referencia.

Intersección de visuales: Medición de los dos ángulos medidos desde los extremos de la línea de referencia, lo cual se conoce también como base medida. Se conforma un triángulo, donde se conocen tres elementos: una distancia y dos ángulos, que mediante la aplicación de la ley de los senos pueden calcular las distancias desde los extremos de AB al punto P.

Intersección directa: Medición de la distancia desde un extremo y la medición del ángulo desde el otro extremo. Los datos faltantes se pueden calcular mediante la generalización de la fórmula de Pitágoras ó la ley del coseno.

Mediciones por Izquierdas y Derechas: Medición de la distancia perpendicular en un punto definido de una línea definida.

Intersección Inversa: Medición de dos ángulos desde el punto por localizar a tres puntos de control de posición conocida, método conocido como trisección. Si la determinación de las coordenadas de un punto se hace observando únicamente dos puntos de posición conocida se conoce como bisección.