



UNIVERSIDAD
DEL QUINDÍO



TOPOGRAFIA

PARA INGENIEROS CIVILES



GONZALO JIMENEZ CLEVES

Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Civil
Armenia 2007

GENERALIDADES

1

1. Topografía

La topografía es una ciencia aplicada que a partir de principios, métodos y con la ayuda de instrumentos permite *representar* gráficamente las formas naturales y artificiales que se encuentran sobre una parte de la superficie terrestre, como también *determinar* la posición relativa o absoluta de puntos sobre la Tierra.

Los procedimientos destinados a lograr la representación gráfica se denominan *levantamiento topográfico* y al producto se le conoce como *plano*, el cual contiene la proyección de los puntos de terreno sobre un plano horizontal, ofreciendo una visión en planta del sitio levantado. El levantamiento consiste en la *toma* o captura de los datos que conducirán a la elaboración de un plano

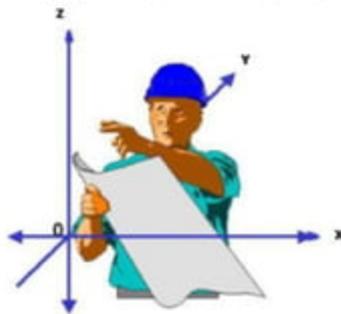


Fig. 1

Así mismo, a partir de los diseños, contenidos en planos para la construcción de las obras civiles en general, se realiza la *localización* o materialización del proyecto en terreno. La localización consiste en *ubicar* en el sitio todos los puntos que hacen posible la construcción de una obra de ingeniería

El topógrafo en la actualidad enfrenta el reto de realizar estudios topográficos y como parte de ellos los levantamientos topográficos para cumplir las expectativas del mercado.

La topografía es una profesión con un campo extenso. Hay muchos tipos diferentes de agrimensores y / o topógrafos, cada uno que tiene sus propios métodos específicos y aplicaciones. Es a menudo difícil para explicar qué es exactamente la topografía

1.1. Historia de la Topografía

En realidad se desconoce el origen de la topografía. Las pruebas fehacientes que ubiquen la realidad histórica de la topografía se han encontrado en forma aislada como lo muestra una tablilla de barro encontrada en Ur, en Mesopotamia, que data de tres siglos antes de nuestra era y los testimonios encontrados en otros territorios, en diversas partes del mundo, pero es de Egipto donde se han obtenido mayores y mejores referencias, las escenas representadas en muros, tablillas y papiros, de los hombres realizando mediciones de terrenos.

Los Egipcios conocían como ciencia pura lo que después los griegos bautizaron como *geometría* (medida de la tierra) y su aplicación en lo que pudiera considerarse como *topografía* o quizá mejor dicho etimológicamente, *topometría*.

Herodoto dice que Sesostris (alrededor del año 1400 a. C) dividió las tierras de Egipto en predios para fines de aplicación de impuestos, pues era fundamental la medida de la extensión de dichas parcelas para determinar los tributos. Esto motivó la creación de funcionarios llamados *arpedonaptas* (tendedores de cuerda) dedicados a la labor de medir.

Las inundaciones del Nilo hicieron desaparecer porciones de estos lotes, por lo tanto otra de sus funciones era la de reponer (replantear) estos límites.

Posiblemente a partir de que el hombre se hizo sedentario y comenzó a cultivar la tierra nació la necesidad de hacer mediciones o, como señala el ingeniero francés P. Merlin, la *topografía nace al mismo tiempo que la propiedad privada*.

Como primer instrumento hicieron uso del cordel, un antecedente de la regla, escuadra y compás. El cordel lo usaban como compás fijando un extremo y desplazando el otro y como elemento para trazar líneas, anudado a distancias iguales se convertía en regla graduada que viene a ser como el precursor de la cinta métrica. Les servía de escuadra al dividirlo en tres partes proporcionales 3,4,5 (denominado triángulo sagrado), conocían las propiedades de estos triángulos y trazaban así las perpendiculares, lo que conduciría a la gran parcelación rectangular de la propiedad antigua.

A partir de estos trabajos, los primeros filósofos griegos desarrollaron la ciencia de la geometría, que se aplicó a la construcción de viviendas, tumbas, graneros, canales, templos y a la astronomía. Su adelanto, no obstante, tuvo lugar principalmente en los terrenos de la ciencia pura. Es Herón quien se destaca por haber efectuado la aplicación de la ciencia básica a la topografía, al encontrar la fórmula para la determinación del área de un triángulo en función de sus lados.

$$A = 1/2 \sqrt{P(P-a)(P-b)(P-c)}$$

En la que P es el semiperímetro y es igual a $(a+b+c)/2$ siendo a , b y c los lados de un triángulo.

Hacia el año 120 a. C., fue Herón autor de varios tratados importantes, de los cuales se destaca el llamado La Dioptra, obra que fue de gran importancia entre los Griegos y Egipcios, pues en ella describe los primeros instrumentos topográficos diferentes al cordel.

El desarrollo práctico de la topografía se le debe a los romanos pues aplicaban reglas para el cálculo exacto del área del cuadrado, rectángulo y triángulo rectángulo.

Siguiendo a los egipcios en la forma de obtener la superficie de los cuadriláteros no rectangulares como el producto de las dos semi sumas de los lados opuestos.

Para determinar el área de una ciudad de forma irregular deducían el radio a partir de la medida de su perímetro.

El agrimensor romano (gromatico o compendatores) actuaba vinculado a la geometría y a la institución del derecho de la propiedad sobre los bienes, participaba de esa función que exige conocimientos de los que hoy llamamos técnicas y sociales, que afectan tanto al derecho publico como privado, los representantes de estos son Frontinus e Higinio quienes vivieron en el siglo primero, pioneros en el campo de la topografía y autores de unos tratados que fue la norma durante muchos años.

Los prácticos romanos produjeron muchos avances en la topografía al establecer una serie impresionante de proyectos de ingeniería en sus imperios, ellos proyectaban ciudades, campos militares y vías usando un sistema de coordenadas rectangulares. Levantaron las rutas principales utilizadas para operaciones militares en el continente europeo, islas británicas, norte de África y aun en partes de Asia, además organizaron una asociación de topógrafos.

Estos romanos usaron instrumentos como el odómetro o rueda medidora, la groma que se utilizo para visar puntos a 90 grados y prolongar alineamientos, la libella y el chorobates para la nivelación.

Después del imperio romano, el agrimensor mantendría cierta relevancia, pero no volvería a alcanzar el esplendor pasado.

Uno de los manuscritos en latín mas antiguo que hay en existencia es el Código Aceriano (Codex Acerianus), escrito aproximadamente durante el siglo IV, contiene una relación de la topografía tal como la practicaban los romanos e incluye varias paginas del tratado de Frontinus. El manuscrito lo encontró Gerbert en el siglo X y le sirvió de base para su texto de geometría, que estaba dedicado en su mayor parte a la topografía. En este mismo siglo aparece también el escrito llamado el Arte de Medir Tierras escrito por Inocencio en los que se constataban las aportaciones romanas a la topografía

En el siglo III las paredes de la escuela de Autun estaban tapizadas con cartas geográficas. En el templo de Telo se pinto un mapa de Italia y bajo los magníficos pórticos de Roma otro mapa del mundo entero.

Fueron los Árabes en la edad media, quienes mantuvieron viva la topografía, desarrollada hasta el momento por los griegos y los romanos en los escritos de la llamada geometría práctica.

En Europa fueron mejorando los trabajos topográficos a partir del siglo XI en la academia imperial de San Petersburgo se conservaba un planisferio del canónigo Enrique de Maguncia dedicado a Enrique V de Alemania, también son dignos de mención el mapamundi de Leipzig y el mapa triangular de la biblioteca Catoniana.

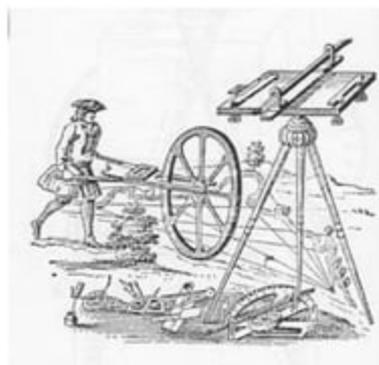


Fig. 2

En el siglo XIII Von Piso escribió la *Practica Geometria y Liber Quadratorum*, en los que contenía instrucciones sobre los métodos topográficos e instrumentos como el cuadrante, el baculo de cruz, el astrolabio.

En el siglo XV se atribuye al infante don Enrique de Portugal la invención de las cartas planas base fundamental y origen de la actual planimetría.

Con la aparición del telescopio a fines del siglo XVI y principios del XVII, la topografía y la geodesia tuvieron un gran avance, realizándose trabajos muy importantes en lo relativo a la determinación de la forma y tamaño de la tierra. Se destacan nombres como los de Picard, Snellius y Casinni por el conocimiento y desarrollo de la topografía y el establecimiento de los fundamentos de la geodesia y la topografía moderna.



Fig. 3. Teodolito de Ramsden

Durante la guerras de la revolución francesa se levantaron con exactitud numerosos planos topográficos y cartas militares; los diferentes estado de Europa entre los que sobresale Alemania e Inglaterra, quisieron poseer buenos mapas y planos de sus territorios, y entonces empieza también a enriquecer la topografía la formación de planos detallados para el catastro y alinderamientos de las propiedades rústicas y urbanas. La triangulación geodésica se perfecciona con cálculos exactísimos ; las noticias estadísticas las altura bien determinadas sobre el nivel del mar reemplazan los adornos y figuras simbólicas de las antiguas cartas, y las naciones se comunican entre si los descubrimientos y las ultimas noticias topográficas.

Es de resaltar que unos de los acontecimientos mas importantes en la historia de la topografía en América, fue la certificación como topógrafo de George Washington otorgada por la facultad del College of William and Mary en Williamsburg, Virginia en 1749



Fig.4

Fue también durante esta época cuando la topografía ocupa una posición destacada al ser la base para la localización de servicios de

caminos, canales, ferrocarriles, acueductos y sobre todo en los linderos por el gran valor que obtuvieron las tierras

El mejoramiento de los instrumentos y los métodos empleados para hacer mediciones y producir mapas. Se da a raíz de la primera y segunda guerras mundiales y durante los conflictos de Corea y Vietnam.

La carrera espacial, la guerra fría y la guerra golfo, se logran desarrollos tecnológicos con otros fines, logrado estos ser la base de la tecnología de la topografía actual, entre los que cabe destacar instrumentos tales como: Equipos de medición electrónica de distancias (ondas de radio y de luz), Giroscopos, equipos con dispositivos de rayo láser, nuevas cámaras aerofotogramétricas, sensores remotos, sistemas de posicionamiento global desde el doppler hasta el actual el sistema de posicionamiento por satélite (GPS).

1.1.2. Cronología de la historia de la Topografía

FECHA	SUCESO
3000 a C	Los Babilonios y egipcios usaban cuerdas o cadenas para medir
2500 a C	Los Chinos elaboran la Brújula
1400 a C	Se Inicia los trabajos Topográficos en Egipto
560 a C	Anaximandro introdujo la Gnomon
150 a C	Ptolomeo describió el cuadrante
120 a C	Se Crea la Dioptra
1220	Leonardo de pisa describe el cuadrante
1300	Levi Ben Gerson da a conocer el mecanismo para la medida indirecta (ángulo paralítico)
1542	El matemático Portugués Pedro Núñez dio a conocer un procedimiento para estimar una parte fraccionaria de un intervalo del limbo.
1571	El matemático y topógrafo Ingles Leonard Digges describe el " Teodolito"
1576	Josua Habernel Fabrica el Goniometro
1593	El matemático Clavius dio a conocer la teoría del nonio
1607	Lippershey, Diseña y construye el telescopio
1610	Aaron Rathbone Elabora la cadena de agrimensur
1620	El Ingles Edmond Gunter diseño una cadena de 66 pies de largo que tenia 100 eslabones
1631	El Francés Pierre Vernier, Invento el Vernier
1639	El astrónomo Ingles William Gascoigne establece el principio de la taquimetría que significa "medición rápida"
1659	El Holandés Huygens. Construyo el micrómetro simple para el ocular
1662	El marques de Malasia en Bolonia inventa los retículos de hilos.
1664	El Danés Drander, Construyo la primera reticula de cristal con líneas finas

	grabadas en el y lo aplico en la medición de distancias
1666	El matemático y físico Francés Thévenot, inventa el nivel de aire.
1674	El Profesor Montanari de la Universidad de Bolonia inventa el primer distanciometro de antejo
1729	El topógrafo Holandés Cruquius, introduce las curvas de nivel
1730	El Ingles Hadley y el norteamericano Godfrey idearon el sextante.
1732	El astrónomo y topógrafo Norteamericano David Rittenhouse. Fabrica el primer telescopio topográfico
1740	Aparece la primera escuadra doble construida por Adams
1757	Dollond crea el primer objetivo.
1765	Entra al mercado la plancheta
1771	El Escocés James Watt, Construye el taquímetro
1778	El Ingles Willian Green, establece el principio de estadia, describió el método de estadia
1785	Ramsden produjo el teodolito telescópico de tres pies.
1791	Adams, construye la escuadra de espejos
1799	Francia implanta el sistema métrico decimal
1804	Richenbach introdujo el teodolito repetidor
1810	Richenbach añadió los hilos estadimetricos
1830	Nathaniel Bowdith. Crea la regla de la brújula o Bowditch para la compensación de poligonales
1830	Adrien Bortaloue crea la mira parlante
1830	El Norteamericano Draper y Young trabajando independientemente desarrollan un instrumento llamado transito
1842	El físico Austriaco Cristian Doppler formula el principio que lleva su nombre, "Doppler"
1846	Carl Zeiss, monta su taller
1850	Fundan el taller Fennel
1860	El físico francés Foucault, inventa el Giroscopio
1862	Aparece el Theo 10 Carl Zeiss
1883	Se Crea el Titulo de Ingeniero Topógrafo
1890	Hammer fabrica el taquímetro autoreductor
1890	Ronagli y Urbani usaron la placa móvil de vidrio de doble graduación
1892	Salmoiraghi construye el taquímetro con un microscopio de estima.
1900	Aparecen teodolitos provistos de círculo vertical
1915	En Newlyn. Inglaterra. Cornwall determina el nivel del mar. Denominado Datum Ordnance
1920	Enrique Wild Fabrica el círculo graduado sobre cristal
1926	Michelson determino que la velocidad de la luz era igual a 299796 km/s
1929	Se sugiere la medición de distancias, por medio de la luz
1936	Los Rusos Fabrican el primer distanciometro electro-óptico
1936	Willian Burt, inventa la brújula con antejo solar
1939	Aparece el DKM3 Kern
1945	Aparecen los niveles automáticos
1946	Es fabricado el nivel automático, por el Ruso Stodolkjewich
1948	El físico sueco Dr. Erik Bergstrand, crea el Geodimetro (tipo electro óptico)
1948	La Asociación Internacional de Geodesia definió los errores accidentales y sistemáticos en nivelación
1950	Fabrican el transito T2 Wild Heerburg
1950	Elaboran el nivel Ni 02 Carl Zeiss

1950	Fabrican El transito Theo 002 Carl Zeiss
1956	Askania fabrica el compensador para el limbo vertical
1957	En Sudáfrica el Dr. T. L. Wadley, desarrolla el prototipo del telurómetro
1958	Cubic Corporation de San Diego, fabrica el "electrotape"
1960	La Conferencia Internacional de Pesas y Medidas establece el sistema internacional de unidades
1973	A partir del Efecto Doppler, se desarrolla el sistema Transit, predecesor del GPS.

1.2. La tierra en su verdadera forma

Como la tierra es una figura amorfa (geoméricamente) el hombre la ha asemejado a diferentes figuras geométricas para su estudio. En la antigüedad se creía que la tierra era una esfera, debido a que podía representarse fácilmente, siendo esta forma la que en el espacio a gran distancia se observa; pero con base en mediciones posteriores, se ha establecido, que la tierra tiene una forma aproximada a una esfera achatada o elipsoide, cuya la longitud del eje polar es ligeramente menor que la del eje ecuatorial (43 Km. aproximadamente).

Estudios mas recientes han demostrado que en realidad la figura exacta de la tierra, se asemeja a un elipsoide de revolución llamado *geoide* (superficie compleja formada por el nivel de los mares supuestos prolongados por debajo de los continentes) A finales de la década de los 80 se ha postulado la teoría de que la tierra mas bien se parece a un cardioide, entendiéndose como un cuerpo que posee mas masa hacia el norte que hacia el sur.

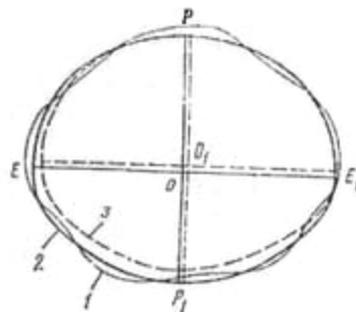


Fig. 5

1 Geoide 2 Elipsoide terrestre 3 Elipsoide de referencia

Como la forma geométrica y dimensiones de la tierra esta representada por un elipsoide al cual divide en paralelos y meridianos en zonas y fija exactamente valiéndose de las latitudes y longitudes de los puntos del terreno que se proyectan sobre la superficie del elipsoide. A cada punto P del terreno figura 5, corresponder un punto p proyección sobre el elipsoide y número que representa la distancia Pp que se llama cota de P .



Fig. 6

La geografía que precisa menos exactitud, representa a la tierra con esferoides, reduciendo sus dimensiones, sobre cuyas superficies dibuja con pocos detalles lo que necesita para sus descripciones, como si sobre dichas superficies se hubieran proyectado los accidentes del suelo.



Fig. 7

Como el elipsoide es una figura compleja, el hombre para su estudio y mejor comprensión a la asemejado a una esfera, a la cual le a eliminado todos sus accidentes geográficos.

Si un plano horizontal cortara esta esfera en pasando por su centro formaría un círculo máximo, que es el denominado línea del ecuador. La distancia entre dos puntos de la esfera A y B (figura 7) es la longitud del segmento de arco que pasa por los puntos y siempre será mayor que la cuerda interceptada por este arco.

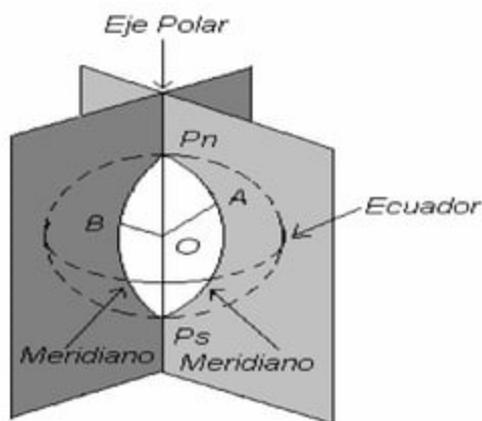


Fig. 8

Si un plano pasa por los polos norte y sur de la tierra y cualquier otro punto de la superficie como A (figura 8), la línea definida por la intersección del plano con la superficie terrestre, se llama meridiano. Si tenemos dos planos verticales que se intersectan en el eje terrestre y pasan por los puntos A y B (figura 8), localizados en la superficie de la tierra, y que la sección entre los dos planos, que se observa en blanco. En el ecuador los dos meridianos son paralelos, arriba y abajo de este, los meridianos convergen, lo cual se incrementa a medida que se aproximan a los polos, lo que nos lleva a concluir que ningún par de meridianos es paralelo excepto cuando pasan por el ecuador.

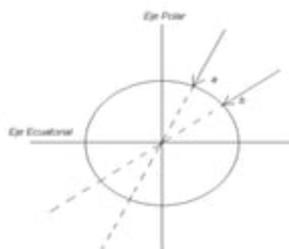


Fig. 9

Si consideramos la tierra como una esfera figura 9, y trazamos dos perpendiculares sobre los puntos a y b de la superficie terrestre; estas convergerían en el punto O, centro de la tierra. Pero si tomamos la

tierra en su verdadera forma (geoide) figura 10 estas mismas perpendiculares se intersertaria en punto O' diferente de O, centro de la tierra.

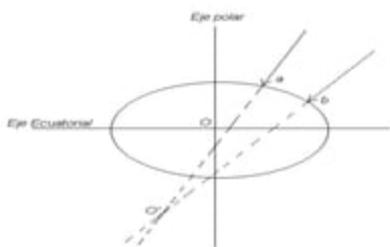


Fig. 10

Lo anterior nos lleva a concluir que todas las perpendiculares tomadas sobre la superficie terrestre pueden considerarse como verticales, debido a la distribución no uniforme de la superficie terrestre. Además debido a las pequeñas extensiones que la topografía mide estas verticales son consideradas también paralelas.

De acuerdo con lo anterior, desde el punto de vista de la topografía la superficie terrestre se toma como una superficie plana u horizontal, puesto que sus diferentes actividades, se desarrollan en áreas de extensión limitada (menores de 20 kilómetros), y se fundamentan, por lo tanto, en las siguientes consideraciones :

1. La línea que une dos puntos de la superficie terrestre se considera recta.
2. Los ángulos formados por líneas rectas que se interceptan en la superficie terrestre, se consideran ángulos planos.
3. Las perpendiculares a la superficie terrestre en puntos diferentes, se consideran paralelas.
4. La superficie de nivel a partir de la cual se miden las alturas, se considera plana.

1.3. Sistemas Coordinados

1.3.1. Sistema de coordenadas geográficas

El sistema de coordenadas geográficas se desarrolló a partir de conceptos originados por los filósofos griegos antes de la Era Cristiana. Este es el primer sistema utilizado para estimaciones básicas de la situación, tales como la navegación y la prospección. El sistema es fundamentalmente del tipo de coordenadas esféricas, no siendo los meridianos y paralelos rectos ni estando regularmente espaciados. Es útil para cartografiar grandes áreas y la medir distancias y direcciones en unidades angulares de grados, minutos y segundos. Un sistema rectangular de coordenadas, que es mucho más simple de construir y utilizar, se puede superponer al sistema de coordenadas geográficas.

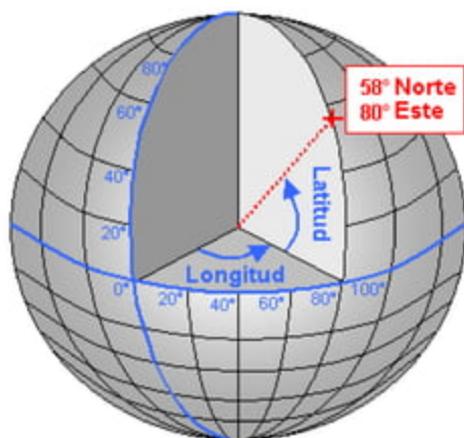


Fig. 11

1.3.2. Proyección para Colombia¹

En Colombia de acuerdo a su posición geográfica, el instituto geográfico Agustín Codazzi, determinó que la proyección cartográfica es la conforme de Gauss y el elipsoide es el internacional de Hayford. Esta proyección utiliza un cilindro tangente a la esfera terrestre a lo largo de un meridiano principal.

¹ Tomado y Adaptado de Fundamentos de Cartografía. Victoria Eugenia Abad Gaviria 1995. Colombia.

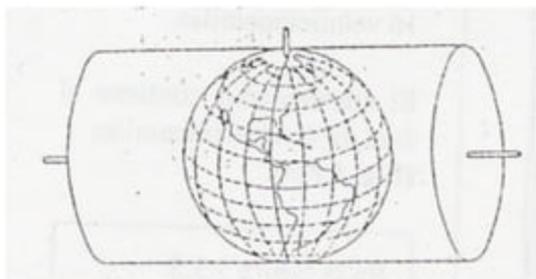


Fig. 12

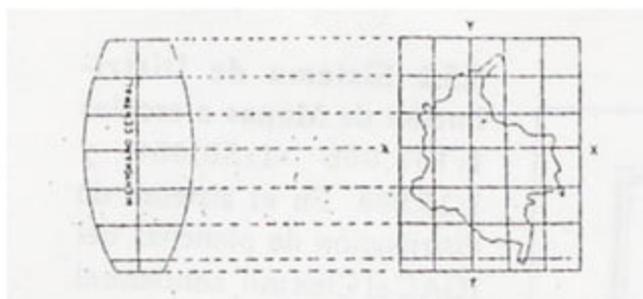


Fig. 13

1.3.2.1. Puntos de origen para el mapa 1:1'500.000

Los orígenes de las coordenadas planas, son $74^{\circ} 04'51''30$ de longitud al oeste de Greenwich y el paralelo $4^{\circ} 35'56''57$ de latitud norte y que corresponde a las coordenadas geográficas del Observatorio Astronómico Nacional. Tanto en el sentido longitudinal (y), como en el sentido latitudinal (x), se adoptaron los siguientes valores:

$$y = 1'000.000 \text{ m}$$

$$x = 1'000.000 \text{ m}$$

Con el fin de evitar valores negativo en la localización de cualquier punto.

A partir de este origen, las coordenadas planas aumentan de valor hacia el este (300.000 en 300.000m) y disminuyen hacia el oeste para y. De la misma manera para los valores x, aumentan hacia el norte y disminuyen hacia el sur.

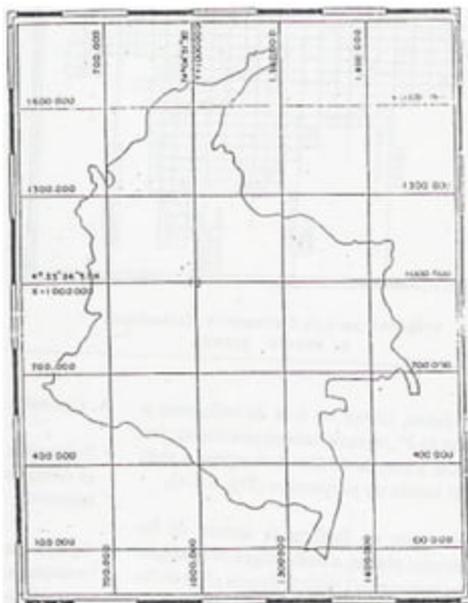


Fig. 14

Para corregir las anomalías y deformaciones que sufre los accidentes geográficos al hacer la proyección de la superficie curva de la tierra sobre un plano, y obtener una cartografía más precisa en la Carta Básica (escala 1:25.000) y en la Carta General de Colombia (escala 1:100.000), hubo necesidad de establecer cuatro puntos de origen en sentido longitudinal, desde donde se partió para cubrir cartográficamente todo el territorio nacional.

Los orígenes, tienen un área de influencia amplitud de 3° , representada en seis mapas: dos de 60 km y uno de 45 km. De longitud a cada lado el centro de proyección.

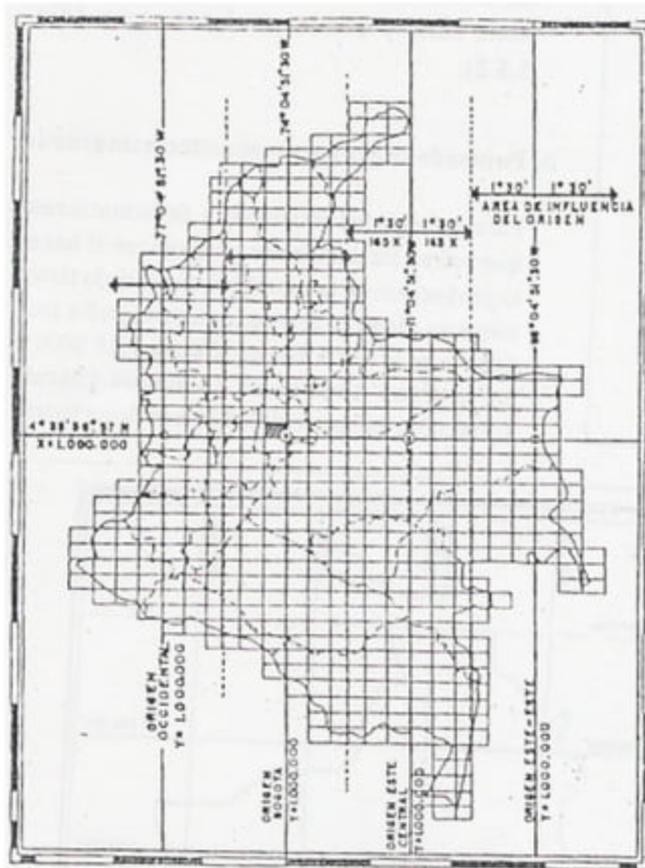


Fig. 15

1.4. Divisiones de la Topografía

La topografía se dividen en:

1.4.1. Planimetría

Parte de la topografía que se refiere a la posición de puntos y su proyección sobre un plano horizontal

1.4.2. Altimetría

Es la parte de la topografía que tiene por objeto el estudio de los métodos y procedimientos para representar el relieve del terreno

1.4.3. Levantamientos

Conjunto de operaciones requeridas para obtener la posición de puntos.

La topografía es una de las artes más antiguas e importantes porque, como se ha observado, desde los tiempos más remotos ha sido necesario marcar límites y dividir terrenos. En la era moderna, la topografía se ha vuelto indispensable. Los resultados de los levantamientos topográficos de nuestros días se emplean para (1) elaborar mapas de la superficie terrestre, arriba y abajo del nivel mar; (2) trazar cartas de navegación aérea, terrestre y marítima; (3) deslindar propiedades privadas y públicas; (4) crear bancos de datos con información sobre recursos naturales y utilización de la tierra, para ayudar a la mejor administración y aprovechamiento de nuestro ambiente físico; (5) evaluar datos sobre tamaño, forma, gravedad y campo magnético de la Tierra; y (6) preparar mapas de la Luna y los planetas. Es difícil imaginar un proyecto de ingeniería por sencillo que esta sea, en el que no se tenga que recurrir a la topografía en todas y cada una de sus fases.

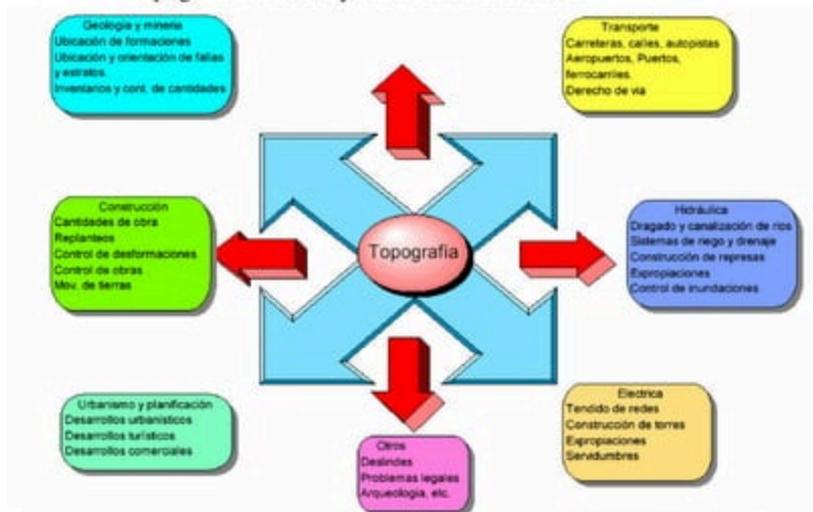


Fig. 16 Relación de la topografía con otras disciplinas²

² Tomado de la Topografía plana. Leonardo Casanova Matera, 2002

1.4.3.1. Tipos de levantamientos³

- *Levantamientos de control:* red de señalamientos horizontales y verticales que sirven como marco de referencia para otros levantamientos
- *Levantamientos de topográficos:* Determinan la ubicación de características o accidentes naturales y artificiales, así como las elevaciones usada en la elaboración de mapas.
- *Levantamientos Catastrales de terreno y de linderos:* normalmente se trata de levantamientos cerrados y ejecutados con el objetivo de fijar límites de propiedad y vértices.
- *Levantamientos hidrográficos:* definen la línea de playa y las profundidades de lagos, corrientes, océanos, represas y otros cuerpos de agua.

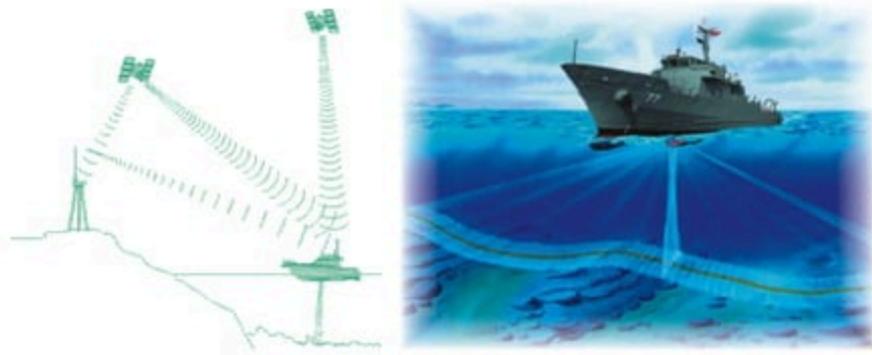


Fig. 17

- *Levantamientos de de rutas:* se efectúan para planear, diseñar y construir carreteras, ferrocarriles, líneas de tuberías y otros proyectos lineales. Estos normalmente comienzan en un punto de control y pasan progresivamente a otro, de la manera más directa posible permitida por las consideraciones del terreno.

³ Topografía Wolf, Brinker. Alfaomega 1997



Fig. 18

- *Levantamientos de construcción:* determinan la línea, la pendiente, las elevaciones de control, las posiciones horizontales, las dimensiones y las configuraciones para operaciones de construcción. También proporcionan datos elementales para calcular los pagos a los contratistas.
- *Levantamientos finales según obra construida:* documentan la ubicación final exacta y disposición de los trabajos de ingeniería, y registran todos los cambios de diseño que se hayan incorporado a la construcción. Estos levantamientos son sumamente importantes cuando se construyen obras subterráneas de servicios, cuyas localizaciones precisas se deben conocer para evitar daños inesperados al llevar a cabo, posteriormente, otras obras.
- *Levantamientos de Solares:* Límite de propiedades, ubicación de edificaciones.
- *Levantamientos Industriales:* son procedimientos para la ubicación de maquinarias industriales, son levantamientos de mucha precisión con errores muy pequeños.

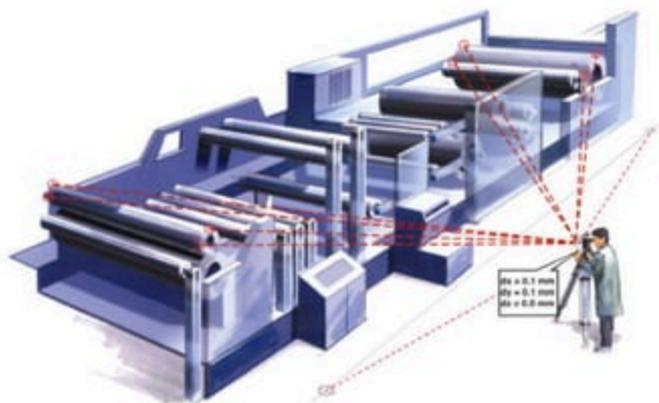


Fig. 19

- *Levantamientos de Terrestres, aéreos y por satélite:* son los que integran mediciones electrónicas, fotogrametría terrestre y aérea, y los sistemas de posicionamiento Global.

1.5. Ciencias y términos relacionadas con la Topografía

1.5.1. Agrimensura

Parte de la topografía que se ocupa de la determinación de las superficies agrarias (planimetría) y de los límites de los terrenos.

1.5.2. Geofísica

La geofísica es la ciencia que aplica los principios físicos al estudio de la Tierra.

Los geofísicos examinan los fenómenos naturales y sus relaciones en el interior terrestre. Entre ellos se encuentran el campo magnético terrestre, los flujos de calor, la propagación de ondas sísmicas y la fuerza de la gravedad.

La geofísica, tomada en un sentido amplio, estudia también los fenómenos extraterrestres que influyen sobre la Tierra, a veces de forma sutil, y las manifestaciones de la radiación cósmica y del viento solar

1.5.3. Geodesia

Ciencia que tiene por objeto el estudio y la determinación de la forma, dimensiones y campo de la gravedad de la Tierra y de los cuerpos celestes cercanos a ella. Previamente a la realización del mapa topográfico de un país son necesarios los trabajos de geodesia. Permite obtener datos para fijar con exactitud los puntos de control de la triangulación y la nivelación.

1.5.4. Cartografía

Ciencia que tiene por objeto la realización de mapas, y comprende el conjunto de estudios y técnicas que intervienen en su establecimiento.

1.5.5. Fotogrametría

Conjunto de métodos y de operaciones que permiten la confección de mapas y planos, incluyendo la determinación de la tercera dimensión, a partir de fotografías estereoscópicas. Sinónimo complementario: restitución fotogramétrica. Nota: Según se base en fotografías obtenidas desde un avión o desde tierra se denomina, respectivamente, fotogrametría aérea o fotogrametría terrestre.

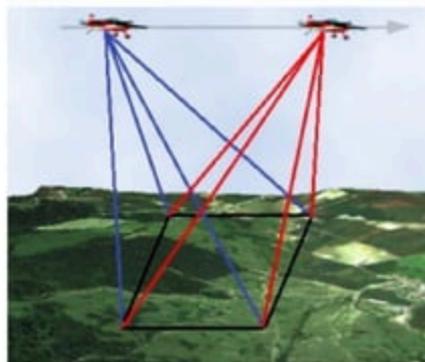


Fig. 20

1.5.6. Sistemas de Información Geográfico

Es el conjunto formado por Hardware, Software y procedimientos para capturar, manejar, manipular, analizar y representar datos georreferenciados, con el objetivo de resolver problemas de gestión y planificación.

1.5.7. Geomática

La ciencia de Geomática se preocupa por la medida, representación, análisis, dirección, recuperación y despliegue de información espacial que describe los rasgos físicos de la Tierra y el ambiente construido. Geomática incluye disciplinas como:

Topografía, Geodesia, Sensores Remoto & fotogrametría, Cartografía, Sistemas de Información Geográficos, Sistemas del Posicionamiento Globales,

1.5.8. Teledetección:

Técnica mediante la cual se obtiene información sobre la superficie de la Tierra, a través del análisis de los datos adquiridos por un sensor o dispositivo situado a cierta distancia, apoyándose en medidas de energía electromagnética reflejadas o emitidas por la superficie terrestre.



Fig.21

ESCALAS



2. Escalas

Se denomina escala (E) a la relación constante que existe entre una longitud medida en un plano (P) y la correspondiente longitud medida en el terreno (T); expresada como una fórmula de la siguiente manera.

$$\text{Escala} = \frac{\text{Dimensiones en la carta, mapa o plano,}}{\text{Dimensiones en el terreno}} = \frac{\text{Papel}}{\text{Terreno}} = \frac{P}{T} \quad (1)$$

2.1. Clases de escala

La escala de un plano puede ser gráfica o numérica. La numérica a su vez puede ser de dos clases:

- . Sin unidades llamadas también escala fraccionaria.
- . Con unidades denominada escala verbal.

2.1.1 Escala fraccionaria

La primera llamada fraccionaria, se representa como su nombre lo indica por una fracción, cuyo numerador es la unidad y su denominador las unidades tomadas en el plano, ejemplo:

$$\frac{1}{500} \quad \frac{1}{1000} \quad \frac{1}{2000}$$

Quiere decir esto, que una unidad medida en el plano o mapa representa D (denominador) unidades medidas en el terreno, o sea:

$$E = \frac{1}{D} \quad (2)$$

Según la definición establecida y representada por la formula (2.1) e igualándola a (w.2) tenemos:

$$\frac{1}{D} = \frac{P}{T} \quad \text{de donde} \quad T = P \cdot D \quad (3)$$

En esta nueva formula T representa las unidades medidas en el terreno, P las unidades medidas en el plano y D el denominador de la escala.

Ejemplo de aplicación.

1. Cuantos centímetros medirá en un plano o mapa a una escala de 1:50000, una línea que en el terreno mide 8500 metros.

Aplicando la formula (2.3) y despejando P se tiene:

$$P = \frac{T}{D} = \frac{8500 \text{ m} \times 100 \text{ cm/m}}{50000} = \frac{850000 \text{ cm}}{50000} = 17 \text{ cm}$$

En el plano la línea medirá 17 cm.

2. En un mapa cuya escala es 1/20000 se determina la longitud de una línea, siendo esta 8.4 cm. Cual será la longitud de esta línea en terreno.

$$T = ? \quad P = 8.4 \text{ cm} \quad D = 20000$$

$$T = P \times D \Rightarrow T = 8.4 \text{ cm} \times 20000 = 16800 \text{ cm} = 168 \text{ m}$$

La longitud de la línea en el terreno es de 168 m.

3. A que escala debe dibujarse el plano para que una línea de 3600 m pueda representarse con una longitud de 18 cm.

$$D = ? \quad P = 18 \text{ cm} \quad T = 3600 \text{ m}$$

$$D = \frac{T}{P} = \frac{3600 \text{ m} \times 100 \text{ cm/m}}{18 \text{ cm}} = \frac{360000 \text{ cm}}{18 \text{ cm}} = 20000$$

Como $D = 20000$, entonces la escala a utilizarse será 1:20000

2.1.2 Escala verbal

Es aquella en la cual esta especificada mediante el empleo de unidades, la relación que se satisface entre las medidas hechas en el plano y las determinadas en el terreno, donde el miembro de la izquierda representa las dimensiones en el papel y el de la derecha las dimensiones en el terreno.

Ejemplo:

$$1 \text{ cm} = 10 \text{ cm} \quad 1 \text{ cm} = 1 \text{ km} \quad 1 \text{ pulgada} = 10 \text{ Millas}$$

Este tipo de escala, para poder ser utilizada en cálculos debe llevarse al tipo de escala fraccionaria, eliminando las unidades utilizadas mediante conversión lineal.

1. Convertir la escala verbal 1 cm = 1 Km a fraccionaria.

$$1 \text{ cm} = 1 \text{ Km}$$

$$1 \text{ km} \cdot \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \cdot \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} = 100000 \text{ cm}$$

Así un centímetro equivale 100000 centímetros o sea:

$$E = 1 / 100000$$

Escalas comerciales

En el mercado profesional se utilizan principalmente las siguientes escalas:

$$1:1 \quad 1:2 \quad 1:2.5 \quad 1:5 \quad 1:7.5 \quad 1:12.5$$

Así como múltiplos de estas:

$$1:100, 1:1000, 1:10000, 1:100000, 1:1000000$$

$$1:200, 1:2000, 1:20000, 1:200000$$

$$1:250, 1:2500, 1:25000, 1:250000$$

$$1:500, 1:5000, 1:50000$$

1:750, 1:7500

1:125 1:1250

De esta manera en el comercio se consigue un instrumento denominado escalímetro el cual trae seis escalas de las anotadas anteriormente y que permiten medir directamente en el plano las distancias sin realizar operaciones matemáticas.



Fig. 22

Las escalas se pueden denominar:

Grandes: Cuando el denominador está entre 2 y 25000

Medianas: Cuando el denominador está entre 25000 y 500000

Pequeñas: Cuando el denominador es un valor mayor de 500000

En topografía se utilizan generalmente escalas 1:100, 1:500, 1:750 y 1:1000 dependiendo de la extensión del terreno.

2.1.3 Escala Gráfica

La escala gráfica consiste en una línea recta (llamada línea portadora) dividida en distancias que corresponden a determinado número de unidades de longitud del terreno.

Ejemplos:

Escala en Km

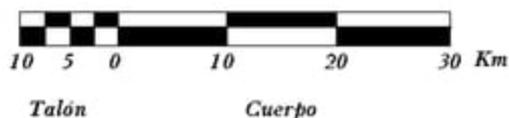


Fig. 23

Escala en m



Fig. 24

Las ventajas principales que reúne toda escala gráfica son:

- Que cada segmento en que se ha dividido la reglilla graduada, tiene un valor terreno único, los cuales se toman directamente sobre el mapa sin efectuar ningún tipo de operación matemática.
- Que al reducir o ampliar un mapa, carta o plano, por el método fotográfico (Fotocopiado), la escala gráfica en los dos procedimientos continúa siendo correcta, es decir, que se produce el cambio de escala en forma automática; mientras que en la escala numérica, no experimenta el cambio de ampliación o reducción del mapa, carta o plano fotocopiado.

Entonces para aplicar el procedimiento de cambio de escala por el método de fotocopiado, conviene eliminar o corregir antes la escala numérica y dejar tal cual la escala gráfica.

Método de construcción

Partiendo de la fórmula $T = P \cdot D$ se calcula la longitud que en el papel representa un número adecuado de metros, kilómetros o millas, de acuerdo con la magnitud de la escala; luego se grafica tomando como base una recta de longitud adecuada y dividiendo la gráfica en dos partes no iguales a partir del cero y sombreando las zonas de valores enteros, que representan a las unidades tomadas en el terreno. Como puede verse en las gráficas de los ejemplos anteriores.

Ejemplo de construcción:

Dibujar la escala gráfica correspondiente a la numérica 1:100000 sobre una línea de 12 cm.

$$T = P \cdot D \quad P = \frac{T}{D} \quad \text{Si tomamos como base } T = 1 \text{ km.}$$

Entonces:

$$T = 1000 \text{ m} \cdot 100 \text{ cm/m} = 100000 \text{ cm}$$

$$D = 100000$$

$$P = \frac{100000}{100000} = 1 \text{ cm}$$

Entonces 1 cm representa en el papel 1 km. medido en el terreno.

1. Se traza una línea con la longitud pedida:



Fig. 25

2. Se deja una franja de 2 cm a la izquierda para una subdivisión y se construye la escala en la restante longitud de 10 cm, tal como aparece en el gráfico en cuatro secciones iguales con valores de longitud definidos 2.0 km.

Ejemplo de construcción

Sea un mapa a escala 1: 200000, construir la escala gráfica que se aprecie de 20 en 20 Km. en el cuerpo y de 5 en 5 Km. en el talón.

Para construir el cuerpo:

1 cm en el mapa equivale a 12 Km. en el terreno

$$\begin{array}{l} 1 \text{ cm} \text{ ----- } 12 \text{ Km.} \\ x \text{ ----- } 20 \text{ Km.} \end{array}$$

$$x = \frac{1 \text{ cm} * 20 \text{ Km.}}{12 \text{ Km.}} = 1,6 \text{ cm}$$

$$1,6 \text{ cm} = 20 \text{ Km.}$$

Entonces 1,6 cm en el papel representan 20 Km. medidos en el terreno.

Para construir el talón:

$$\begin{array}{l} 1.6 \text{ cm} \text{ ----- } 20 \text{ Km.} \\ x \text{ ----- } 5 \text{ Km.} \end{array}$$

$$x = \frac{1.6 \text{ cm.} * 5 \text{ Km.}}{20 \text{ Km.}} = 0,4 \text{ cm}$$

$$0,4 \text{ cm} = 5 \text{ Km.}$$

Entonces 0.4 cm. representa en el papel 5 Km. medidos en el terreno.

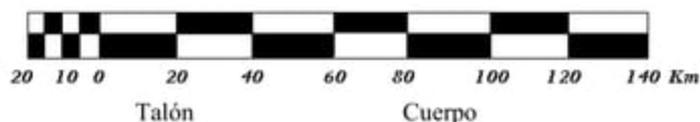


Fig. 26

2.2 Representaciones Cartográficas

Croquis: Es una representación gráfica (mano alzada) de áreas rurales y/o localidades que se elabora mediante la aplicación de métodos aproximados, como mediciones con cintas métricas o a pasos en donde se muestra el trazado de calles, manzanas, detalles, etc. y todos los rasgos de fácil identificación en el terreno.

Mapa: Es una representación plana de un área muy extensa de la superficie terrestre, que además de la localización de los elementos

fisico-naturales considera los aspectos culturales, representándolos de forma que se puedan entender fácilmente.

Carta: Es una representación plana de una parte de la superficie terrestre, que además de la localización de los elementos fisico-naturales y culturales, tienen ciertas ayudas para la persona que la va a utilizar, de conformidad con los fines que persiga. Por ejemplo: cartas censales, cartas marítimas, cartas aeronáuticas, etc.

Plano: Es también una representación plana de la superficie terrestre, de menor extensión que la de un mapa; pero elaborada a escalas más grandes y con bastantes detalles físico naturales y culturales. Se usa generalmente para áreas urbanas.

Una forma de clasificar las representaciones cartográficas es de acuerdo a las escalas empleadas.

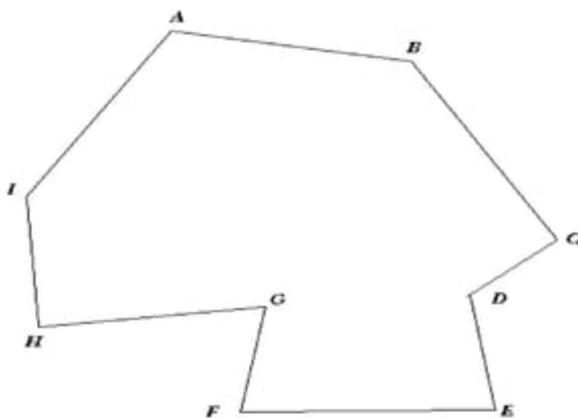
Tipo	Escalas	
	Sin	
Croquis		
Mapa	1 : 100.000	a 1 : 1'000.000
Carta	1 : 25.000	a 1 : 100.000
Plano	1 : 1	a 1 : 25.0000

Tabla 1

Plano Topográfico: Representación a escala de los accidentes naturales y artificiales del terreno sobre un papel sin tener en cuenta la curvatura de la tierra.

Ejercicios Propuestos

1. En un mapa cuya escala es 1:300000 se determina la longitud de una línea, siendo esta de 7.2 cm. Cual será la longitud de esta línea en el terreno.
2. A que escala debe dibujarse el plano o mapa para que una línea de 8729 m pueda representarse con una longitud de 25 cm.
3. Cuantos centímetros medirá en un plano a una escala 1: 500 una línea que en el terreno mide 90 m.
4. Convertir la escala verbal 1 pulgada = 250 yardas a escala fraccionaria.
5. Convertir la escala verbal 1 cm = 8 km. a escala fraccionaria.
6. Un terreno tiene 2200 metros cuadrados de área según levantamiento hecho. Si se representa a escala 1:500. Cual será el área en el plano en cm cuadrados, y en dm^2 .
7. Cual es la longitud total del perímetro en metros del polígono propuesto.



ESC 1: 500

TEORIA DE ERRORES



3. INTRODUCCIÓN

Realizar mediciones es el trabajo del Topógrafo. ¿Que calidad debe tener esas mediciones? Se ha dicho y escrito mucho sobre el tema, aparece en 1809 cuando Gauss inició el estudio de la teoría de errores y en 1810 Laplace, que había considerado anteriormente el tema, completó el desarrollo de esta teoría. Las tareas fundamentales de esta teoría son: El establecimiento de los criterios indicados y la elaboración de procedimientos para su obtención y estimación. Es consenso general que una medición debe ser tan buena como que cantidad de errores posea, por esto hablemos de que es error.

3.1. ERROR

Es la diferencia entre el valor observado o calculado y su valor verdadero o teórico.

$$E = Vm - Vv \quad (1)$$

Vm: Valor medido
Vv: Valor verdadero
E: Error

En la teoría de las mediciones uno de los postulados es la existencia de un valor verdadero de la magnitud a medir y que sea preferencialmente constante. Pero en la topografía se desconocen los

valores verdaderos (V_v) de las magnitudes. En general los valores que reemplazan el valor verdadero son: variables y casuales.

La teoría de las mediciones parte del supuesto de que el objeto a medir posee un modelo en el cual los parámetros del mismo son medibles o cuantificables.

Un modelo matemático cuyos parámetros son determinables y cuantificables, además debe ser el más cercano a la realidad del objeto.

Además este modelo representa la relación cualitativa ideal entre las características del objeto, las características cualitativas de este se expresan a través de los parámetros medibles del modelo.

El modelo del objeto debe satisfacer la estabilidad de los parámetros en el momento de las mediciones, en otras palabras los parámetros del modelo deben ser constantes en el momento de su determinación.

El error que surge como resultado de la incoherencia del modelo objeto de la medición (modelo inadecuado) debe ser menor que el error de la medición, de aquí se deduce que la medición con una precisión dada de antemano puede ser realizada solamente cuando la característica medible del objeto se encuentra en concordancia con los parámetros desconocidos del modelo del objeto. Este parámetro será el valor verdadero de la magnitud medida. A las magnitudes variables y casuales se les determinan los parámetros que no son ni casuales ni variables, por ejemplo, la media (valor más probable).

Aumentando el número de observaciones se puede elevar la precisión de la medición hasta cierto límite es decir que el modelo corresponda al fenómeno estudiado.

El tratamiento de los errores (compensación) depende mucho del tipo de medición, así pues se plantea las siguientes:

- A. Mediciones de igual precisión (homogéneas): Son aquellas mediciones en las cuales los resultados se obtienen con la misma confiabilidad, como resultado de unas condiciones

iguales u homogéneas; las cuales determinan su precisión; ninguna de las mediciones es de mejor calidad que las otras.

- B. Mediciones de diferente precisión (heterogéneas): Son Aquellas en las que los resultados son de diferente calidad y se volarán con un número especial llamado peso (este concepto se tratara mas adelante)
- C. Mediciones independientes: Son aquellas en las cuales es característica la ausencia de cualquier relación entre las medidas
- D. Mediciones dependientes: Son aquellos en las cuales existe una relación.

Según el esquema de medición suelen ser:

- A. Necesarias: Aquellas que directamente determinan una magnitud desconocida.

Ejemplo: Determinar la suma de los ángulos internos de un triángulo, para tal efecto es suficiente conocer dos ángulos.

- B. Redundantes: Son aquellas que exceden los necesarios.

Ejemplo: medir todos los ángulos de un triángulo

Puede afirmarse incondicionalmente que:

1. *Ninguna medida es exacta*
2. *Toda media tiene errores*
3. *El valor verdadero de una medida nunca se conoce*
4. *El error exacto que se encuentra en cualquier medida siempre será desconocido.*

3.2 MODELO ESTOCÁSTICO Y FUNCIONAL

En Topografía rara vez las mediciones (observaciones) se usan directamente como la información requerida. Normalmente: se miden direcciones, longitudes con lo que obtiene posiciones, áreas y volúmenes.

Para obtener, esto necesitamos una "formula" que denominamos "modelo matemático", en otras palabras la información obtenida "las observaciones" se procesan a través del modelo para llegar a los resultados requeridos. El modelo matemático describe la situación física, esta compuesto de dos partes:

Modelo Funcional

Modelo Estocástico (Estadístico)

El modelo estocástico es la parte del modelo matemático que describe las propiedades estadísticas de los elementos relacionados con el modelo funcional.

El modelo del funcional describe las características geométricas o físicas del problema de estudio.

Por ejemplo la suma de los ángulos internos de un triángulo es 180° (modelo funcional) las propiedades estadísticas de cada ángulo observado (modelo estocástico)

3.3 ERRORES GROSEROS

En la medición, las palabras *error* y *equivocación* (Blunders, errores groseros, errores graves) tiene connotaciones completamente distintas. Una *equivocación* implica descuido por parte del que efectúa la medida. Puede haber leído la escala incorrectamente. Puede que no haya colocado el instrumento de medida en exactamente el mismo lugar cuando eso era lo debiera

haber hecho. Puede que haya anotado las lecturas incorrectamente. Tales equivocaciones pueden, normalmente, evitarse siendo extraordinariamente cuidadoso. Sin embargo, el *elemento humano* constituye la inevitable ligera variación que se produce cuando se repite una medición.

3.4. CAUSAS DE LOS ERRORES

3.4.1. Errores Naturales

Son los ocasionados por los fenómenos naturales, como la temperatura, el viento, la humedad, la refracción, y la declinación magnética.

3.4.2. Errores Instrumentales

Son los provocados por las imperfecciones que haya en la construcción y ajuste o por el posterior mantenimiento.

3.4.3. Errores Personales

Son los que nacen de las limitaciones de los sentidos del hombre como son el oído, la vista y el tacto.

3.5. ERRORES SISTEMATICOS

También conocidos como errores acumulativos, se comportan de acuerdo a leyes de física susceptibles de ser modelados matemáticamente, por lo que su magnitud puede calcularse y su efecto eliminarse.

Estos errores poseen signo positivo o negativo.

En algunos casos la magnitud de errores sistemáticos es tan pequeña que se confunde con los errores aleatorios, realizándose un tratamiento equivocado al manejo de estos errores.

3.6. ERRORES ALEATORIOS

También llamados errores accidentales o casuales. Son los que permanecen en la medida pero no conocemos su valor, obedecen a las leyes de las probabilidades y son ajenos a la voluntad o habilidad del observador.

La magnitud y el signo de estos errores es casual, no se pueden calcular, por lo tanto es imposible eliminarlos. Se les conoce por esto como errores compensables porque tienden a anularse entre sí en una serie de medidas. Estos errores solo se pueden tratar.

Los signos algebraicos de los errores aleatorios dependen por completo del azar y no hay forma alguna de calcularse.

Son los que permanecen después de haber eliminado los errores sistemáticos y las equivocaciones.

El tamaño de este error puede reducirse por refinamiento del equipo empleado y de los procedimientos aplicados. En muchos casos la palabra error se refiere este.

3.7 OBERVACIONES

El resultado de las observaciones (medidas) esta compuesto por los siguientes elementos:

$$O = V_v + G + S + A \quad (2)$$

O : Observación
 V_v : Valor verdadero

- G : Errores groseros (Equivocaciones)
 S : Errores sistemáticos
 A : Errores aleatorios

Los errores groseros y los sistemáticos se eliminan, después del análisis apropiado y corrección, sólo el Valor Verdadero y el error accidental debe permanecer:

$$O = V_v + A \quad (3)$$

A partir de lo anterior se pueden establecer los siguientes principios:

- Los errores groseros se eliminan completamente
- Los errores sistemáticos se corrigen
- Los errores accidentales se minimizan

3.8 PRECISION Y EXACTITUD

Para muchas personas, exactitud y precisión es la misma cosa; para alguien involucrado en las medidas, los dos términos deben tener significados muy diferentes.

La medida, por su naturaleza, es inexacta; la magnitud de esa "inexactitud" es el error. Esto es distinto de una equivocación que es un error grande, y por consiguiente un error que puede descubrirse y corregirse. Una equivocación es un error real en la aplicación de una medida, como leer mal un instrumento. El error es inherente a la medida, e incorpora tales cosas como la precisión y la exactitud. Quizás la manera más fácil de ilustrar la diferencia entre la exactitud y la precisión es usar la analogía de un tirador a quien la "verdad" representa el tiro al blanco.

3.8.1 Precisión

El grado de refinamiento en la ejecución de una medida, o el grado de perfección en los instrumentos y métodos obteniendo un resultado. Una indicación de la uniformidad o reproductibilidad de un resultado. La precisión relaciona a la calidad de un manejo por el

que un resultado se obtiene, y es distinguido de exactitud que relaciona a la calidad del resultado. En la Fig. 27, el tirador ha logrado una uniformidad, aunque es inexacto.

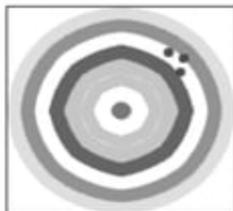


Fig. 27 Precisión

3.8.2. Exactitud

Es el grado de conformidad con una norma (la "verdad"). La Exactitud relaciona a la calidad de un resultado, y se distingue de la precisión que relaciona la calidad del funcionamiento por el que el resultado se obtiene. En la Fig. 28, el tirador se ha acercado a la "verdad", aunque sin gran precisión. Puede ser que el tirador necesitará cambiar el equipo o la metodología, si se requiere un grado de precisión mayor, cuando él ha alcanzado las limitaciones asociadas con su equipo y metodología.

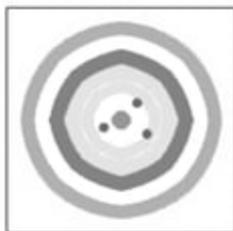


Fig. 28 Exactitud

Fig. 28 representa resultados que indican exactitud y precisión. Difiere de Fig. 27 en que el tirador ha hecho uno de los ajustes sistemáticos que fueron indicados por su logro de precisión sin la exactitud. El grado de precisión no ha cambiado, pero su conformidad con la "verdad" ha mejorado los resultados que obtuvo en Fig. 27.

Si el tirador de Fig. 27 determina que sus resultados no son adecuados para la tarea, él no tiene ninguna opción para cambiar su metodología o equipo. Él ya ha llegado a las limitaciones éstos.

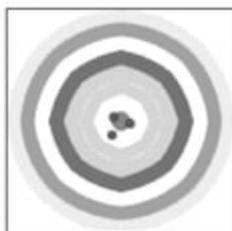


Fig. 29 Exactitud con Precisión

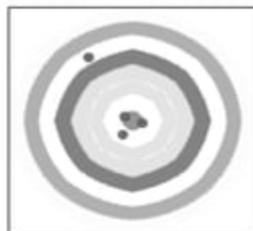


Fig. 30 Precisión con equivocaciones

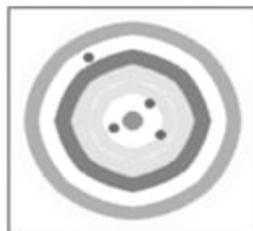


Fig. 31 Exactitud con equivocación

Un beneficio adicional puede ser obtenido usando una metodología que rinde gran precisión. El análisis de resultados obtenidos de técnicas que rinden un grado alto de precisión hará el descubrimiento de equivocaciones más fácil. En las Fig. 30 y Fig. 31, nosotros hemos introducido una equivocación en los resultados asociados con exactitud y con la precisión. Dado el grado de

precisión representado en la Fig. 30, es fácil descubrir la equivocación. Sería fácil analizar los resultados representados en la Fig. 31, y pasa por alto la equivocación. Sin un grado alto de precisión, la equivocación puede ser no detectada y no corregida, por eso afectando la exactitud global.

La necesidad de mayor precisión lleva normalmente a costos mayores. Para obtener un grado más alto de precisión, puede ser necesario usar equipo o una metodología sofisticada y más tiempo. Qué metodología el topógrafo debe determinar y se necesita para lograr la precisión y la exactitud requerida para un trabajo.

La exactitud está diciendo la verdad. . . La precisión está contando la misma historia una y otra vez.

Yiding Wang

DISTANCIAS HORIZONTALES



4. GENERALIDADES

Distancia: Es la separación o espacio entre dos puntos

Alineamiento: Es la dirección rectilínea que se debe seguir para medir la distancia entre dos puntos, o la recta de intersección entre la superficie de terreno y el plano determinado por las verticales en dos puntos.



Fig. 32

Perfil: Es la proyección del alineamiento sobre un plano vertical.

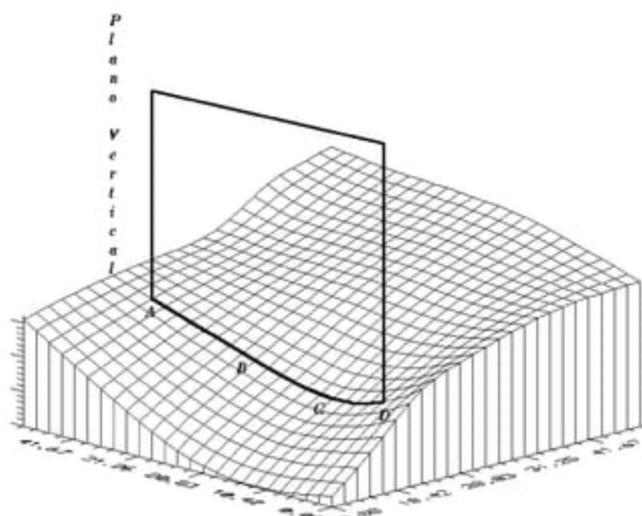


Fig. 33

CLASES DE DISTANCIAS. Existen tres clases de distancias:

1. Distancia Real: Es la longitud del alineamiento teniendo en cuenta todas las irregularidades del terreno (todo su desarrollo); equivale a estirar el perfil y a medir su longitud.
2. Distancia Geométrica: Es la longitud de la recta que une los puntos extremos de un alineamiento (sin tener en cuenta el perfil del alineamiento).
3. Distancia Horizontal (reducida o Topográfica): Es la proyección de la distancia geométrica sobre un plano horizontal, es lo que se denomina propiamente como distancia topográfica. Medir esta distancia es el objeto de la planimetría.

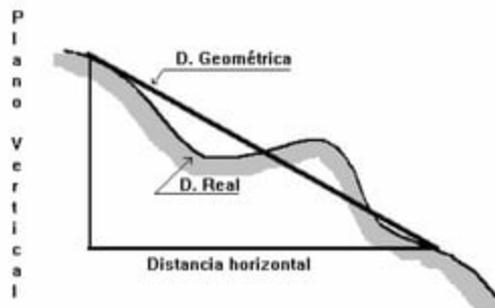


Fig. 34

Nota: El plano vertical que contiene el alineamiento contiene también la distancia real, la distancia geométrica y la distancia horizontal.

Medición de distancias: Es el procedimiento mediante el cual determinamos la distancia entre dos puntos.

Medir: Es determinar, por comparación las veces que una magnitud contiene la respectiva unidad.

4.1. Medidas lineales

La distancia entre dos puntos se puede obtener por métodos *directos* o *indirectos*. La medición directa de una distancia exige recorrerla y adaptar sobre ella la unidad de medida a utilizar. Esto es, para determinar la distancia entre los puntos A y B se debe superponer tantas veces el metro como sea necesario hasta cubrir la separación entre los puntos. La medición indirecta, por el contrario no necesita recorrer la separación entre los dos puntos A y B, sino que obtiene la distancia bien sea por medio de analogías geométricas, trigonométricos o por diferencia de tiempo.

4.2. Medición directa de distancias

La medición directa de distancias se puede realizar a pasos, con un odómetro o con la cinta métrica.

La medición realizada a pasos requiere que la persona conozca previamente la longitud de cada paso para así, una vez recorrida la separación entre dos puntos pueda obtener la distancia al multiplicar el número de pasos por el valor en metros de cada paso. Se puede esperar una precisión de $1 / 100$ a $1 / 200$ de acuerdo al terreno.

El odómetro es un dispositivo que cuenta el número de giros de la llanta de un vehículo cualquiera, de manera que se obtiene la distancia recorrida multiplicando la circunferencia de la llanta por el número de giros registrados. Se puede esperar una precisión de $1 / 200$ con una mayor precisión en superficies lisas y planas.

Para la realización de las mediciones con el metro, generalmente se utilizan cintas que tienen longitudes de 10, 20, 30, ó 50 metros, graduadas en metros, decímetros, centímetros y milímetros. Estas cintas pueden ser de acero, fibra de vidrio o tela. La distancia con la cinta métrica, entre dos puntos, se obtiene sumando las medidas parciales realizadas para cubrir la separación entre ellos.



Fig. 35 Odómetro

De métodos anteriores el que ofrece mayor precisión es el de la cinta métrica, por lo cual se examinará con mayor detenimiento a continuación.

4.2.1 Medición de distancias con cinta métrica

El proceso de medición con la cinta es una operación sencilla que sin embargo involucra equipos adicionales, personas y métodos. Cuando la medición que se requiere es de poca precisión, los equipos adicionales requeridos pueden ser, dos *plomadas* y varios *jalones*



Fig. 36 Cinta

El error accidental de algunas cintas son los siguientes, para su tratamiento se empleara la formula de error de la serie vista en el capitulo anterior, la siguiente tabla

Tipo	Error	Temperatura	Tensión
Fibra de vidrio	10 m \pm 2 mm	20° C	2 kg.
acero	10 m \pm 1 mm	20° C	5 kg.

Tabla 1¹

4.2.2 Hilo Invar

Hasta mediados de los años 50 cuando aparece los distanciometros electrónicos la medición de las líneas de poligonales se realizaban con la ayuda de estos equipos. En la actualidad estos equipos se emplean para la medición de bases y comparadores de campo, para hallar los patrones de control de los distanciometros electrónicos, puesto que dependiendo de las condiciones se puede lograr precisiones de 1/30000 a 1/100000.

El origen de la palabra invar es del griego invar que significa inamovible o indeformable.

¹ Para cintas fabricadas por BMI.

El poco uso de este instrumento en el país mas que a una consideración obsoleta del equipo es debido a que con el transcurso del tiempo, el hilo invar se deforma y el único para introducirles correcciones con el patrón métrico internacional (longitud de onda del átomo de kriptón 86) que es llevado acabo por entidades de metrología estatales que en nuestro país como tal no existe.

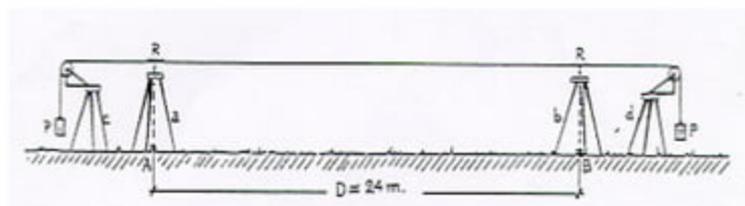


Fig. 37

4.3 Medición indirecta de distancias

Cuando el instrumento de medida no es posible de aplicarlo directamente, por lo tanto se determina la distancia mediante una relación con un patrón, para esto se emplea los conocimientos de geometría y trigonometría.

4.3.1 Telémetro

Instrumento óptico para medir la longitud de la visual dirigida a un objeto (medición a distancia). El instrumento empleado es un telémetro (semejante al de las cámaras fotográficas) de imagen partida o coincidencia; viene provisto de una escala en donde se puede leer directamente la distancia. La precisión obtenida en las distancias determinadas con éste instrumento es 1/300 a 1/500.

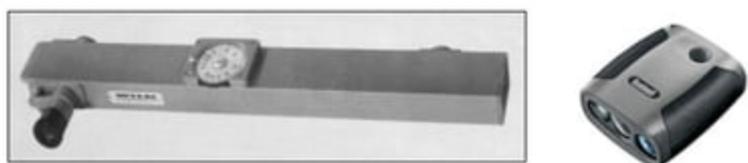


Fig. 38 Telémetros

4.3.2 Taquimetría

Es el método con el que se puede determinar la DH y DE de una manera rápida y con la precisión adecuada para muchos propósitos.

El procedimiento requiere el empleo de:

- Mira vertical.
- Tránsito taquimétrico.

El Tránsito se denomina taquimétrico por estar provisto de retículos taquimétricos o de mira, para el caso, horizontales

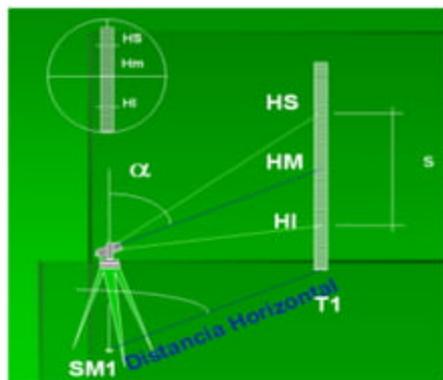


Fig. 39

Procedimiento: El principio de medición consiste en leer los valores interceptados sobre la mira por los dos retículos estadimétricos superior (s) e inferior (i), cuando ésta se sostiene verticalmente en uno de los extremos de la línea a medir, estando el tránsito ubicado en el otro extremo. La distancia horizontal (DH) está dada por la formula:

Para el caso de ángulo vertical

$$DH = K S \cos^2 \alpha \quad (1)$$

Para el caso de ángulo cenital

$$DH = K S \sen^2 z \quad (2)$$

Consideraciones Generales

1. Las distancias menores de 25 m la constante (K) tiene variaciones.
2. No se deben realizar lecturas en la mira menores de 1 m ya que el suelo produce refracción.
3. Las consideraciones para la distancia máxima de lectura de la mira son iguales que para los niveles, con algunos cambios en lecturas al cm.

4.3.3 mira base (invar)

La estadia base de 2 metros es un instrumento práctico y elegante para la medición rápida y segura de distancias. Permite traspasar sin dificultades terrenos inclinados, impracticables o también labrados, evitando daños en los cultivos. Midiendo con un teodolito al segundo, el ángulo paraláctico horizontal entre dos signos de puntería dispuestos en una distancia de exactamente 2 m en la estadia, se obtiene, la distancia horizontal expresada en metros, independientemente de la forma del terreno situado entre los dos extremos.

La medición de distancias con la estadia se basa en la fórmula trigonométrica siguiente:

$$DH = \frac{b}{2} \cdot \text{ctg} \frac{\alpha}{2} \quad (3)$$

DH: Distancia horizontal buscada

b : La base 2 m (distancia entre los dos signos)

α : El ángulo paraláctico horizontal.

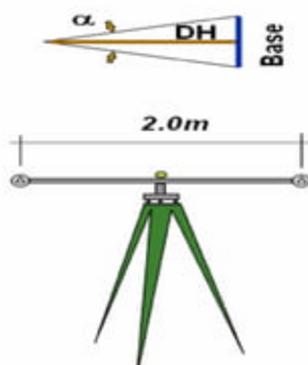


Fig. 40

4.3.4. Medición electrónica de distancias (edm)

Distanciómetro es el instrumento que registra el tiempo de desplazamiento de la onda electromagnética y con base en la velocidad calculada por métodos indirectos con la ayuda del valor de la velocidad de la luz en el vacío, se puede calcular la distancia recorrida por la onda.

$$D = \frac{V \cdot t}{2} \quad (4)$$

D: distancia
V: Velocidad
t: Tiempo

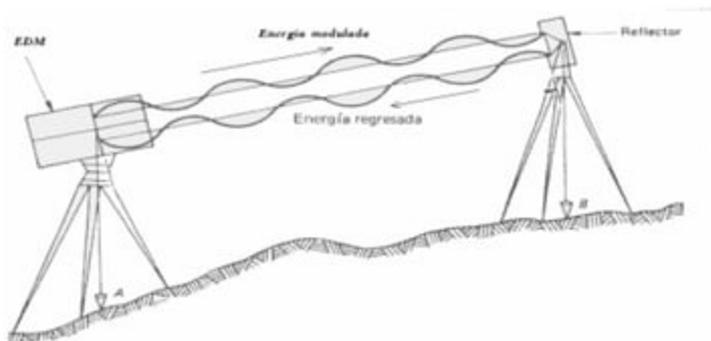


Fig. 41

De acuerdo al proceso físico de la onda se distinguen los siguientes métodos de medición.

- a. Temporal o de impulso: El cual emplea una emisión en forma de impulsos en donde se mide directamente el tiempo de propagación del impulso.
- b. Interferencia: Es aquel que emplea una emisión continua sin modular y registra el resultado de la interferencia directa de la onda de apoyo y la onda reflejada.
- c. Fase: Emplea una emisión continua o un impulso con una señal armónica, modula o una emisión continua sin modular en donde se mide la diferencia de fases.
- d. Frecuencia: emplea una emisión continua o un impulso modulado y se mide diferencia de las frecuencias instantáneas de las ondas emitidas y recibidas.



Fig. 42

La precisión esta dada por la siguiente expresión:

$$e_{EDM} = \sqrt{e^2 + (ppm \cdot D)^2} \quad (5)$$

e_{EDM} : error

e : Error medio cuadrático

ppm: Partes Por Millón

D: Distancia Horizontal (Km)

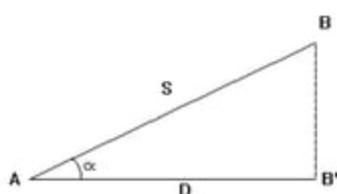
Los distanciómetros se clasifican en tres

1. Corto alcance menor 3 Km
2. Medio alcance de 3 a 12 Km
3. Largo alcance mayores de 12 Km

4.5. Reducción de distancias inclinadas al horizonte

En lugares donde la pendiente de terreno es suave y constante, se prefiere realizar generalmente, la medición de la distancia geométrica o inclinada, para obtener por algún otro método la distancia

topográfica u horizontal: con el fin de evitar los errores causados por la medición usando el método de escalones o de quebrar cinta.



S = Distancia geométrica entre A

α = Angulo de inclinación de A-B con respecto a la horizontal

D = Distancia topográfica u horizontal

Fig. 43

a. Cuando se mide el ángulo de inclinación:

$$\cos \alpha = D/S, \text{ entonces } D = S * \cos \alpha \quad (6)$$

b. Cuando se mide la pendiente:

$$\text{Pendiente}/100 = \text{Tangente de } \alpha \quad (7)$$

$$\alpha = \text{Arco tangente de pendiente}/100$$

$$\text{Entonces } D = S * \cos \alpha \quad (8)$$

Ejemplo:

Reducir a la horizontal una distancia inclinada de 36,78 m y cuyo ángulo de inclinación es de $14^{\circ} 38'$

$$S = 36,78 \text{ m}$$

$$\alpha = 14^{\circ} 38'$$

$$D = ?$$

$$D = S * \cos \alpha$$

$$D = 36,78 \text{ m} * \cos 14^{\circ} 38'$$

$$D = 35,59 \text{ m}$$

Ejemplo:

Reducir a la horizontal una distancia inclinada de 42,50 m y cuya pendiente es del 12%.

$$\begin{aligned} S &= 42,50 \text{ m} & P/100 &= \tan \alpha \\ P &= 12\% & \alpha &= \arctan P/100 \\ D &=? & \alpha &= \arctan 12/100 \\ & & \alpha &= 6^\circ 50' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D &= S * \cos \alpha \\ D &= 42,50 \text{ m} * \cos (6^\circ 50') \\ D &= 42,20 \text{ m.} \end{aligned}$$

4.6. Topografía Clásica vs Topografía Satelital

Veamos las siguientes graficas que nos ilustra una comparación sobre precisiones entre la topografía clásica y los sistemas de topografía satelital, elementos fundamentales de la topografía actual. Esta precisiones pueden mejorar debido ha avances tecnológicos.

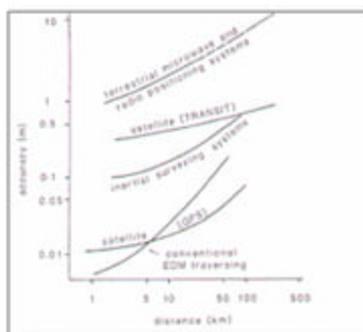


Fig. 44

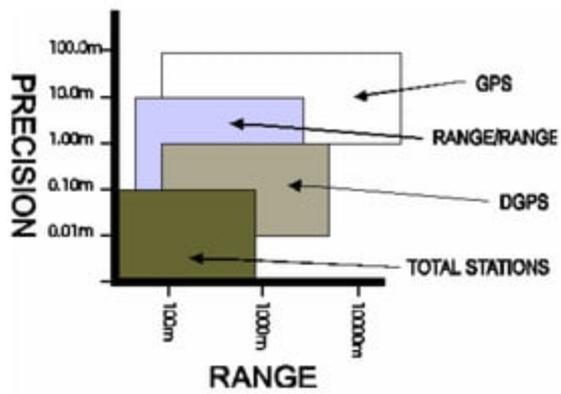


Fig. 45

ANGULOS Y DIRECCIONES

5

5. Generalidades

Un levantamiento topográfico de cualquier terreno puede hacerse obteniendo la dirección de las líneas del polígono tomado como base. Tal vez el método más sencillo de tomar estas direcciones es utilizar una brújula.

5.1 Dirección de una línea

Es un ángulo horizontal mediado desde una línea de referencia establecida, a la que se llama meridiano de referencia. La línea se adopta generalmente es el meridiano verdadero o también meridiano magnético. Si no se dispone de ninguna de éstas líneas de referencia, puede seleccionarse un meridiano supuesto o arbitrario.

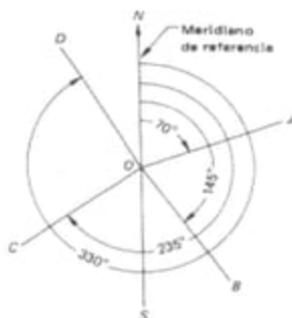


Fig. 46

5.1.1. Angulo interno

Son ángulos formados en el interior de un polígono cerrado en un punto de intersección de sus lados.

5.1.2. Angulo externo

El ángulo exterior de un polígono es el suplemento del ángulo interno.

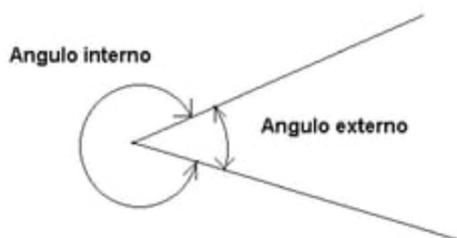


Fig. 47

5.1.3. Angulo a la derecha o Horario (AH)

Son aquellos que se miden en sentido de las manecillas del reloj y desde la estación atrás a la estación adelante.



Fig. 48

5.1.4. Angulo a la izquierda o Contra horario (ACH)

Se miden en sentido contrario al del reloj y también de la estación atrás a la estación adelante.



Fig. 49

5.1.5. Angulo de deflexión

Es el ángulo formado por una línea con la prolongación de la inmediatamente anterior, si se mide en sentido horario se llama "Deflexión Derecha" y en sentido contrario "Deflexión Izquierda"; varía entre 0 y 180 grados.

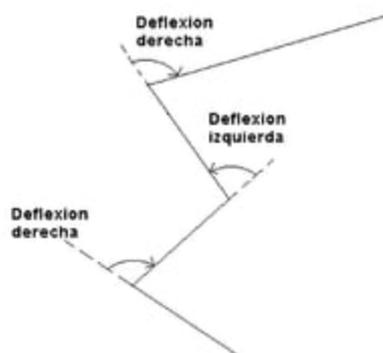


Fig. 50

5.1.6. Azimut

Angulo horario que hace una línea con el extremo norte de la línea de referencia; varía entre 0 y 360 grados. Si el ángulo es medido a partir de la norte magnética se dice que el acimut e magnético, es verdadero cuando se mide con respecto a norte verdadera y es asumido si se mide a partir de una línea cualquiera

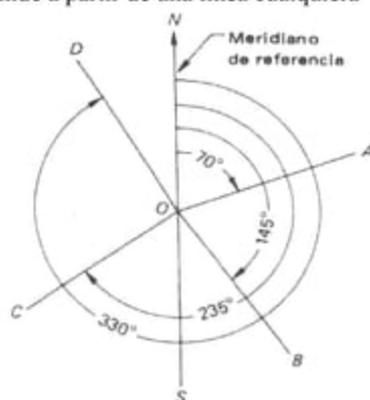


Fig. 51

5.1.7. Contra-Acimut

Se define como el acimut de una línea tomada desde el extremo opuesto de ésta. Podemos concluir entonces que el contra-acimut de una línea cualquiera es el acimut de ésta más o menos 180 grados.

4.1.8. Rumbo

Es el ángulo tomado a partir de la línea de referencia, se mide a partir del extremo norte o extremo sur, hacia el este o hacia el oeste y varía entre 0 y 90 grados. La notación del rumbo debe ser primero la dirección norte o sur, seguida del valor en grados y luego la dirección este u oeste (ejemplo N 30 W).

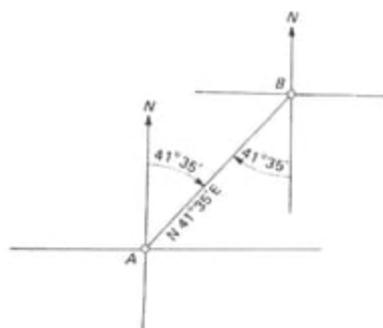


Fig. 52

Los cuadrantes se designan, en sentido horario, así: NE, SE, SW y NW.

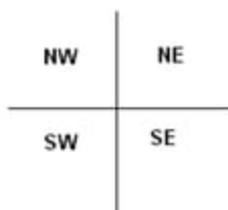


Fig. 53

5.1.9. Contra-rumbo

Se define como el rumbo de una línea tomada desde el otro extremo de ésta.

5.2. Relación entre ángulos Horizontales

En los trabajos de campo se determinan diferentes tipos de ángulos pero en el trabajo de oficina en la mayoría de los casos se necesita determinar azimutes.

5.2.1. Azimut y Contra Azimut

El contra azimut de una línea es el azimut de la línea tomado desde el otro extremo, es decir

$$CAz(AB) = Az(BA) \quad (1)$$

$$CAz(AB) = Az(AB) + 180^\circ \quad (2)$$

5.2.2. Azimut y Rumbo

A partir del diagrama de orientación empleado en topografía:

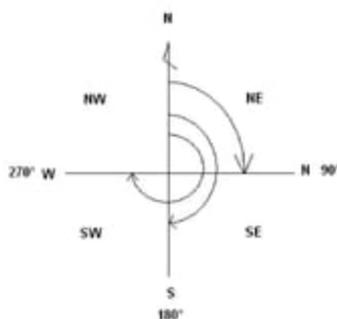


Fig. 54

Cuadrante del azimut	Rumbo
$0 < Az < 90^\circ$	$R = Az \quad (3)$
$90^\circ < Az < 180^\circ$	$R = 180^\circ - Az \quad (4)$
$180^\circ < Az < 270^\circ$	$R = Az - 180^\circ \quad (5)$
$270^\circ < Az < 360^\circ$	$R = 360^\circ - Az \quad (6)$

5.2.3. Azimut y deflexión

La deflexión se calcula a partir de los azimutes colocando estos en orden secuencial y aplicando la siguiente fórmula:

$$DD = Az S - Az A \quad (3)$$

DD es deflexión derecha, Az S es Az siguiente y Az A es Az anterior.

$$\text{Si } Az A > Az S \text{ entonces } DD = (Az S + 360^\circ) - Az A \quad (4)$$

$$\text{Si } DD > 180^\circ \text{ entonces } DI = 360^\circ - DD \quad (5)$$

AZ S: Azimut Siguiente

AZ A: Azimut Anterior

5.2.4. Rumbo y Contra Azimut

El contra rumbo (CR) de una línea es Rumbo (R) de la línea tomado desde el otro extremo.

$$CR (AB) = R (BA) \quad (6)$$

Para determinar el CR de una línea se intercambia las letras N y S, E y W sin variar la magnitud del ángulo.

5.2.5. Rumbo y Azimut

Si el rumbo es de cuadrante NE, el azimut es igual al valor del ángulo (a).

$$R = N \ a^\circ \ E \rightarrow Az = a \quad (7)$$

Si el rumbo es de cuadrante SE, el azimut vale $180^\circ - a$

$$R = S \ a^\circ \ E \rightarrow Az = 180^\circ - a \quad (8)$$

Si el rumbo es de cuadrante SW, el azimut vale $180^\circ + a$

$$R = A \ a^\circ \ W \rightarrow Az = 180^\circ + a \quad (9)$$

Si el rumbo es de cuadrante NW, el azimut vale $360^\circ - a$

$$R = N \ a^\circ \ W \rightarrow Az = 360^\circ - a \quad (10)$$

5.2.3. Deflexión y Azimut

El Azimut se calcula a partir de las deflexiones aplicando la siguiente formula:

$$Az S = Az A + DD \quad (11)$$

5.2.4. Azimut y Angulo Horario o Contra Horario

El Azimut siguiente de un polígono medido, con Angulo horario o contra horario, que se encuentra orientado se calcula de la siguiente forma:

$$Az S = Az A - ACH \pm 180^\circ \quad (12)$$

$$Az S = Az A + AH \pm 180^\circ \quad (13)$$

ACH: Angulo contra horario

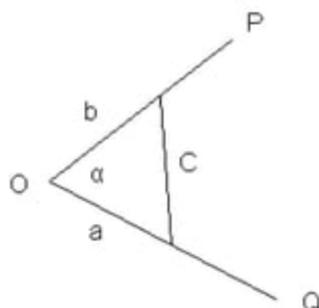
AH : Angulo horario

5.3. Medición de ángulos horizontales con cinta

Ocasionalmente es necesario medir un ángulo y no se dispone de un transito para hacerlo, por esta razón es conveniente conocer el fundamento teórico y le procedimiento de campo para realizar la operación, se mide algunos elementos y por geometría se calcula el ángulo correspondiente, existen varios métodos para medir estos ángulos que son: el método del seno, Coseno y Tangente. A continuación se explica el método del coseno

5.3.1 Método del coseno

Sea el triangulo cualquiera OAB, conocidos los lados $OA = b$, $OB = a$ y $BC = c$, por la ley de los cósenos podemos escribir:



$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \alpha$$

$$\Rightarrow \cos \alpha = \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab} \quad (14)$$

$$\alpha = \arccos \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab}$$

Fig. 55

Procedimiento de campo: A y B son puntos sobre los alineamientos OP y OQ respectivamente, se miden las distancias OA = b y OB = a y la cuerda AB = c el valor del ángulo se calcula con la fórmula dada.

5.4. Ángulos Verticales

En Topografía los ángulos verticales toman sus nombre según la posición del lado origen desde el se miden.

5.4.1. Angulo Cenital

Tiene como origen el cenit; se miden en sentido horario. El ángulo cenital al horizonte vale 90° y al nadir, 180°



Fig. 56

5.4.2. Angulo Horizontal

Tiene como origen la línea horizontal; se dice de elevación o positivo si su lado terminal esta por encima de la horizontal, si está por debajo se dice negativa o depresión. El ángulo al horizonte del cenit vale $+90^\circ$, del nadir -90° .

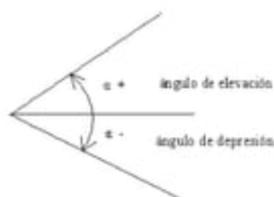


Fig. 57

5.4.3. Angulo Nadiral

Tiene como origen el nadir, se mide en sentido contra-horario; ángulo nadiral al horizonte vale 90° y al cenit 180°

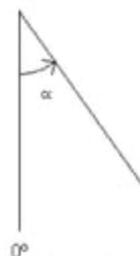


Fig. 58

5.5. Instrumentos para medir ángulos

5.5.1. La Brújula

Consta esencialmente de una aguja magnetizada, montada sobre un pivote montado en el centro de un limbo o círculo graduado. La aguja apunta hacia el norte magnético terrestre. La explicación científica a éste hecho está basada en varias teorías; algunas sugieren que se debe al hierro que compone el núcleo de la tierra, mientras que otras lo atribuyen a corrientes eléctricas en la atmósfera debidas a la rotación terrestre. El hecho es que la aguja señala el meridiano magnético.



Fig. 59



Fig. 60

5.5.2. Transito o Teodolito

Instrumento topográfico para medir ángulos verticales y horizontales, con una precisión de 1 minuto ($1'$) a 20 segundos ($20''$), los círculos de metal se leen con lupa, los modelos viejos tienen cuatro tornillos para nivelación, actualmente se siguen fabricando pero con solo tres tornillos nivelantes.



Fig. 61



Fig. 62

5.5.3. Teodolito óptico - mecánico

Es la evolución del tránsito mecánico, en este caso, los círculos son de vidrio, y traen una serie de prismas para observar en un ocular adicional. La lectura del ángulo vertical y horizontal la precisión va desde 5 minutos hasta una décima de segundo.

5.5.4. Teodolito Electrónico

Es la versión del teodolito óptico, con la incorporación de electrónica para hacer las lecturas del círculo vertical y horizontal, estos círculos tiene un sistema similar a un código de barras, desplegando los ángulos en una pantalla eliminando errores de apreciación, es mas simple en su uso, y requerir menos piezas es mas simple su fabricación y en algunos casos su calibración.



Fig. 63

5.5.5. Estación Semi-Total



Fig. 64

Es el resultado de la combinación de un equipo de medida angular generalmente óptico mecánico, acoplado a un distanciómetro electro óptico.

5.5.6. Estación Total

Es un instrumento topográfico de última generación, que integra en un solo equipo, medición electrónica de distancias y ángulos, comunicaciones internas que permiten la transferencia de datos a un procesador interno o externo y que es capaz de realizar múltiples tareas de medición, guardando datos y cálculos en tiempo real.



Fig. 65

5.6. Transito o Teodolito

El teodolito es un instrumento de medición mecánico-óptico universal que sirve para medir ángulos verticales y, sobre todo, horizontales, ámbito en el cual tiene una precisión elevada. Con otras herramientas auxiliares puede medir distancias y desniveles.

Es portátil y manual, está hecho para fines topográficos.

5.6.1. Clasificación

Los teodolitos se clasifican en teodolitos repetidores y reiteradores

Teodolitos repetidores: Estos han sido fabricados para la acumulación de medidas sucesivas de un mismo ángulo horizontal en el limbo, pudiendo así dividir el ángulo acumulado y el número de mediciones.

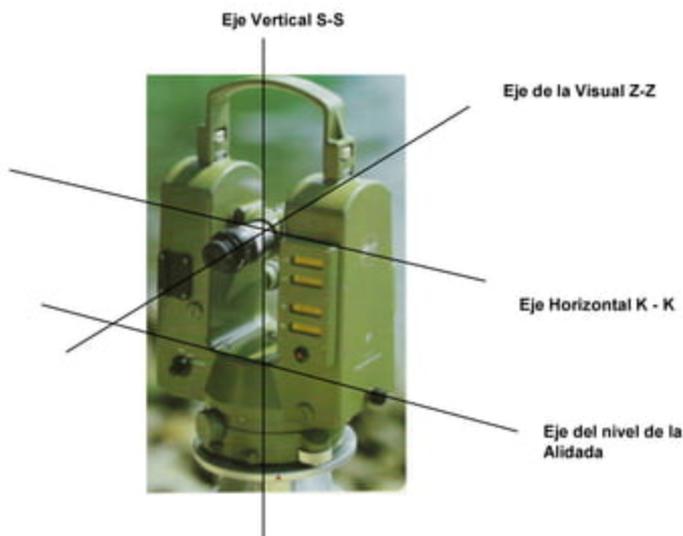
Teodolitos reiteradores: Llamados también direccionales, los teodolitos reiteradores tienen la particularidad de poseer un limbo fijo y sólo se puede mover la alidada.

5.6.2. Ejes

El teodolito tiene 3 ejes principales.

Ejes Principales

- Eje Vertical de Rotación Instrumental S - S
- Eje Horizontal de Rotación del Anteojo K - K
- Eje Óptico Z - Z



El eje Vertical de Rotación Instrumental es el eje que sigue la trayectoria del Cenit-Nadir, también conocido como la línea de la plomada, y que marca la vertical del lugar.

El eje de óptico es el eje donde se enfoca a los puntos. El eje principal es el eje donde se miden ángulos horizontales. El eje que sigue la trayectoria de la línea visual debe ser perpendicular al eje secundario y éste debe ser perpendicular al eje vertical. Los discos son fijos y la alidada es la parte móvil.

El eje Horizontal de Rotación del Anteojo o eje de muñones es el eje secundario del teodolito, en el se mueve el visor. En el eje de muñones hay que medir cuando utilizamos métodos directos, como una cinta de medir y así obtenemos la distancia geométrica. Si medimos la altura del jalón obtendremos la distancia geométrica elevada y si medimos directamente al suelo obtendremos la distancia geométrica semielevada; las dos se miden a partir del eje de muñones del teodolito.

El plano de colimación es un plano vertical que pasa por el eje de colimación que está en el centro del visor del aparato; se genera al girar el objetivo.

LEVANTAMIENTOS DE TERRENOS



6.1 Introducción

En lugares llanos, boscosos y en donde los procedimientos ocasionan daños ecológicos, donde la densificación de la red de triangulación y trilateración se hace difícil o económicamente no es rentable debido a las condiciones difíciles del terreno (como es el caso de Colombia) se emplea la Poligonación.

6.2 Poligonales

Consiste en la determinación de la posición de puntos topográficos o geodésicos mediante el del trazado de líneas quebradas, sobre un lugar determinado (itinerario o poligonal) o el sistema de líneas quebradas entrelazadas (red poligonométrica) en las cuales se miden todos los ángulos y lados consecutivamente.

Cronología del trabajo de una poligonal

En el desarrollo de trabajos que necesiten el uso de poligonales se deben tener en cuenta los pasos del siguiente diagrama.

La exigencia del error angular esta dada por el orden a clase a la que pertenece y a sus limitantes caracterizados por las posibilidades de los equipos.

No se debe olvidar que una vez determinado el error angular se debe realizar el ajuste angular.

El llamado grado de precisión error relativo o errores de cierre, depende del tipo de trabajo y sus requerimientos.

De acuerdo con la precisión de los ángulos y distancias se debe seleccionar el método de ajuste.

Se recomienda no eludir ningún paso del siguiente diagrama.

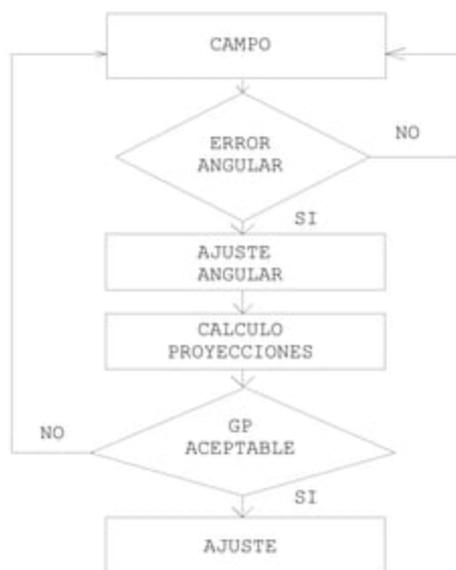


Fig. 67

6.3. Clasificación

Según muchos autores existen diversos tipos de clasificación para las poligonales, aquí se plantea una clasificación en función del control.

Es importante que todas las poligonales estén integradas a sistemas topográficos o geodésicos.



Fig. 68

Poligonal Abierta

Control en ángulo

Poligonal en la cual los lados inicial y final poseen orientación, esto permite verificar los ángulos al transportar el ángulo inicial; no se verifica cada ángulo, sólo se detalla al cierre final.

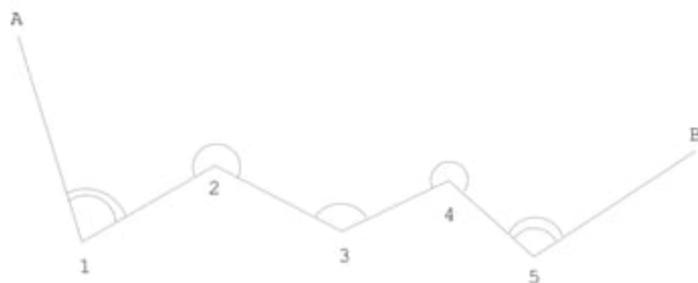


Fig. 69

Otra forma es que los puntos 1 y 6 sean intervisibles pudiéndose determinar los ángulos 612 y 165, no se conoce la distancia 1,6.

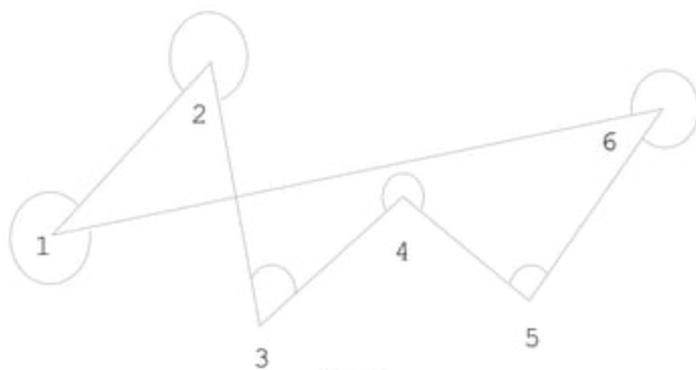


Fig. 70

Control en distancia

Poligonal cuyos puntos inicial y final tiene coordenadas conocidas; no posee control en ángulo.



Fig. 71

Control total

Es la poligonal que parte de un punto con coordenadas conocidas y orientada a partir de una línea anterior, llega a un punto con coordenadas conocidas y una línea orientada siguiente o sale de una línea conocida y llega a otra línea conocida.

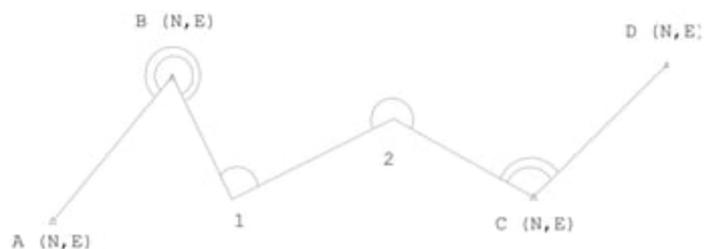


Fig. 72

Posee control en ángulo y distancia.

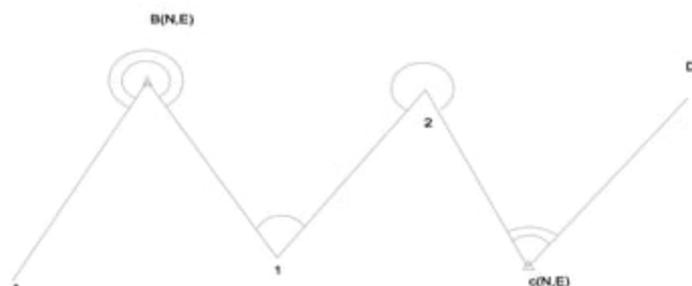


Fig. 73

Se conoce al azimut BA y CD, coordenadas de B y C. Y se desconocen las coordenadas de los puntos A y D. Este tipo de poligonal y la anterior con las que son consideradas geoméricamente abierta y analíticamente cerradas.

También se pueden realizar diversas combinaciones de ellas.



Fig. 74

Sin control

Poligonal que parte de un punto desconocido y llega a otro punto desconocido (Angulo y Distancia). Se comprueba repitiendo el trabajo.



Fig. 75

Se puede realizar un comprobación mediante orientación magnética, instrumental o astronómica de cada una de las líneas.

Poligonal cerrada

Es aquella cuyo punto inicial coincide con el punto final.

Control Interno: Es el control angular entre los lados del polígono, tiene que ver con la geometría de la figura, la poligonal puede cerrar en ángulo y distancia pero no es posible determinar la precisión de errores sistemáticos (por ejemplo asumir una constante K del tránsito diferente a la real)

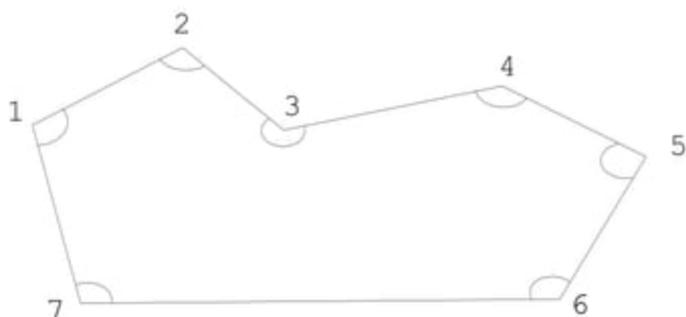


Fig. 76

Control Externo: En este tipo de control al menos dos puntos de la poligonal (lo mas alejado posible) debe se posible contrastarlos con información de otra poligonal, es decir, deben tener coordenadas conocidas, de esta manera además de control, geométrico interno es posible detectar algún error sistemático que afecta el cierre lateral.

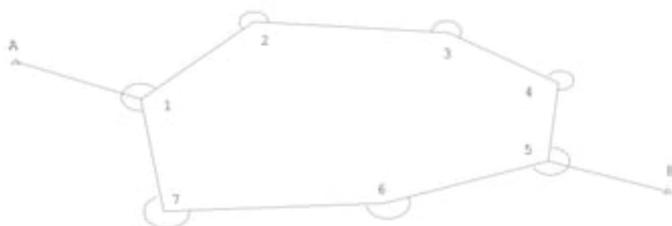


Fig. 77

Radial

Seudopoligonal formada a partir de un punto estación y cuyos vértices no son ocupados por el instrumento. Existe control angular en la estación por cierre al horizonte pero no posee control de distancias.

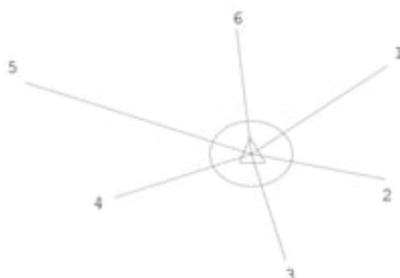


Fig. 78

Poligonal tridimensional

Línea poligonal abierta o cerrada en la que además de resolver la posición planimétrica de puntos interesa determinar su posición altimétrica, quiere decir esto que a cada punto se le puede asignar tres coordenadas: N, E, h (h: altura, altitud, elevación, cota etc.).

Para la determinación de h se debe partir de un punto de altura conocida o asumida y si la poligonal tiene control vertical (cerrada o ligada) debe satisfacer las especificaciones dadas como en una poligonal planimétrica.

Este tipo de poligonal se puede hacer con tránsito y mira o tránsito y MED; debemos recordar que la determinación de h se hace por nivelación trigonométrica, es decir empleando el tránsito.

En el trabajo de campo se determinan ángulo, distancia y elevación que significa que deben registrar lecturas de círculo horizontal, círculo vertical, distanciómetro o los tres hilos si se emplea mira.

Empleando tránsito y mira la precisión de la nivelación trigonométrica depende de la longitud de las visuales, el cuidado en la lectura de la mira, la magnitud del ángulo vertical y la apreciación del círculo vertical del instrumento (ver modelos de error, levantamiento con mira vertical).

6.4. Triangulación

Conjunto de operaciones que tienen por objeto fijar sobre la superficie sobre la cual se quiere cartografiar la posición de los puntos claves que forman una red de coordenadas geográficas en un mapa, la que se mide la distancia de la base y todos los ángulos.

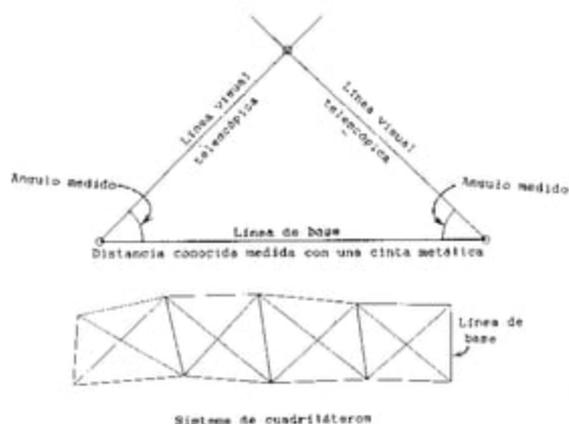


Fig. 79

6.5 Trilateración

Triangulación observada basada en la medida de los lados de los triángulos en lugar de los ángulos para determinar la posición.

6.6. Coordenadas

Estamos acostumbrados a trabajar con coordenadas cartesianas en sistema xy , ahora lo vamos a hacer en el sistema NE empleado en Topografía. Las formulas son las mismas pero la rotación es horaria, se cambia x por N , y por E y $m.\tan Az$ o $\tan R$.

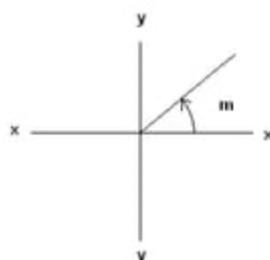


Fig. 80. Sistema XY

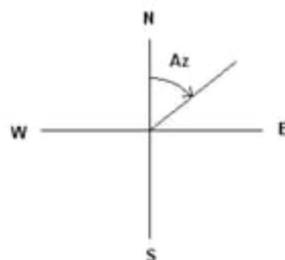


Fig. 81. Sistema NE

Para el manejo de las coordenadas es necesario conocer la forma como se determina a partir de la información que toma el topógrafo en el campo, ángulos y distancias, con estos datos se calculan proyecciones y de estas coordenadas.

6.6.1. Transformación de Coordenadas

Las coordenadas polares (r, θ), radio vector y ángulo, en topografía distancia y Az son la manera usual de presentar la información, mejor dicho, es la forma de realizar las mediciones en el campo, los cálculos se efectúa utilizando coordenadas (N, E) que se relacionan así Transformación de polares a rectangulares:

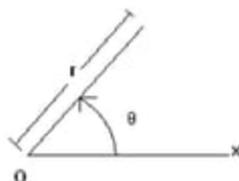


Fig. 82 Sistema XY

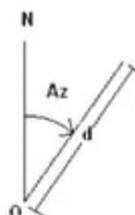


Fig. 83. Sistema NE

$$N = r * \text{Cos } \alpha \quad \text{y} \quad E = r * \text{Sen } \alpha \quad (1,2)$$

Transformación de rectangulares a polares

$$r = \sqrt{E^2 + N^2} \quad \text{y} \quad \alpha = \text{arcTan} \frac{E}{N} \quad (3, 4)$$

6.6.2. Cálculo de Proyecciones

Conocidas la longitud y azimut (o rumbo) de una línea se pueden determinar sus proyecciones a lo largo de los ejes NS (Meridiano de Referencia) y EW (Paralelo de Referencia).

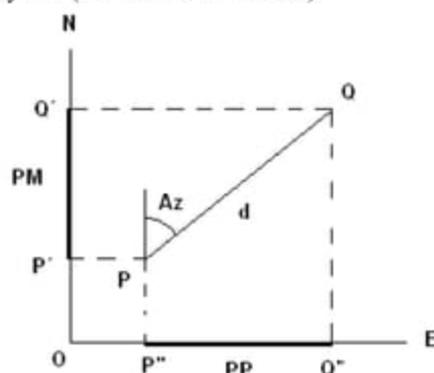


Fig. 84

Proyección Meridiana (PM): Longitud de su componente a lo largo de eje NS.

$$PM_{PQ} = d_{PQ} * \text{Cos } Az_{PQ} \quad (5)$$

Proyección Paralela (PP): Longitud de su componente a lo largo del eje EW.

$$PP_{PQ} = d_{PQ} * \text{Sen } Az_{PQ} \quad (6)$$

El signo de la proyección lo da el signo de la función según el cuadrante. Si se conoce el rumbo en lugar del azimut, PM es positiva si el azimut es N y si PP es positiva el azimut es E.

6.6.3. Error de Cierre (EC)

En un polígono cerrado o abierto pero analíticamente cerrado la suma algebraica de las proyecciones meridiana es igual a cero, lo mismo pasa con la proyección paralela, las proyecciones son el resultado de dos mediciones (ángulos y distancias), por lo tanto susceptibles de error, esto hace que en la práctica el resultado no sea cero, entonces:

$$\sum(PM+) + \sum(PM-) = \delta PM \quad (7)$$

y

$$\sum(PP+) + \sum(PP-) = \delta PP \quad (8)$$

El error de cierre es un vector resultante de δPM y δPP , el error de cierre se calcula como la hipotenusa del ángulo formado por los errores en las proyecciones meridianas y paralelas de un polígono.

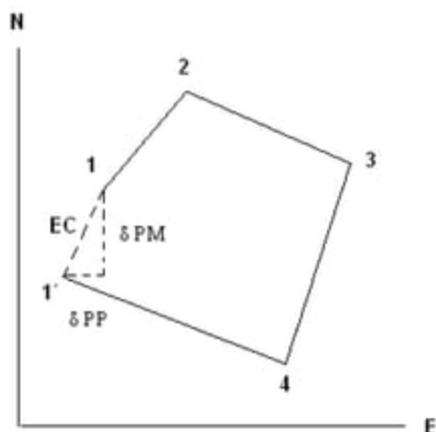


Fig. 85

6.6.4. Grado de Precisión

Es la relación que existe entre el error de cierre (E_c) y el perímetro (P) de la poligonal; se expresa como una fracción con numerador la unidad (1). El grado de precisión se conoce también como error unitario (EU) o escala del Error (EE)

$$GP = \frac{1}{P/E_c} \quad (9)$$

Una poligonal es tanto mejor cuanto mayor sea el denominador del grado de precisión.

6.6.5. Ajuste de Poligonales

Como se ha visto anteriormente, no hay medida exenta de error, la medida de una poligonal por lo tanto esta sujeta a errores, bien sea la medida de los ángulos o la medida de los lados o ambos, si el error esta dentro de los límites de tolerancia, podemos compensar la poligonal para esto tenemos varios métodos:

Método Arbitrario: Como su nombre le indica no obedece a nada, este método se usaba cuando no habían los dispositivos de cálculo de la actualidad, no es recomendable.

Método del Transitó (Wilson): Este método se debe usar cuando las medidas de ángulos son más precisas que las medidas de longitud.

Método de XY o Ormsby: Es el método recomendado para cuando se desean hacer replanteos, la corrección se aplica a las distancias y muy poco al ángulo.

Método de Crandall: Es un método desarrollado por el profesor L. A. Crandall, como una aproximación al método de mínimos cuadrados, para poligonal de precisión superior.

Método de Mínimos Cuadrados: Es el mejor método de ajuste de poligonales, es el recomendado para poligonal de alta precisión, que cada vez son mas comunes por el desarrollo actual de la tecnología, posee la característica de ajustar la poligonal modificando lo mas los ángulos y las distancias.

Existen otros métodos como: Smirnof, homotecia y giro, para ser usados en casos muy particulares.

6.6.5.1. Método de la Brújula

Este método fue desarrollado por matemático Norte Americano Bowdich, en algunas partes del mundo es conocido como el método de Bowdich en honor al que lo desarrollo, Este método tiene la característica que se debe usar cuando los errores angulares tenga el mismo efecto que el de las distancias.

Calculo de Correcciones

$$C_{PM} = -\frac{\delta PM}{P} \cdot Lado \quad (10)$$

$$C_{PP} = -\frac{\delta PP}{P} \cdot Lado \quad (11)$$

P: Perímetro

Proyecciones Corregidas

$$PM_c = PM + C_{pm} \quad (12)$$

$$PP_c = PP + C_{pp} \quad (13)$$

El calculo de coordenadas consiste en determinar la posición de puntos en un plano cartesiano; el primer punto de debe estar ligado a un sistema superior, de no ser así se asume como coordenadas del punto de origen un valor suficientemente grande con le objeto de

que todo el polígono quede determinado en el primer cuadrante, este valor puede ser 1000,1000 o cualquier otro valor de acuerdo con le tamaño del polígono y la magnitud de las distancias.

Calculo de Coordenadas

$$\begin{aligned} N &= N_{i-1} + PM \\ E &= E_{i-1} + PP \end{aligned} \quad (14,15)$$

Si la poligonal es cerrada el último punto coincide con el primero y las coordenadas deben ser las mismas del punto inicial.

Veamos un ejemplo:

METODO DE LA BRUJULA											
Azimut		P.		dFM	dPP						
Est	Gra	min	DH	FM	PP	CFM	CPP	PMC	PPC	N	E
1										1000	1000
2	2	36	58,42	58,36	2,65	0,01	-0,01	58,37	2,64	1058,37	1002,64
3	278	21	94,53	13,73	-93,53	0,01	-0,01	13,74	-93,54	1072,11	909,10
4	190	14	80,04	-78,77	-14,22	0,01	-0,01	-78,76	-14,23	993,35	894,87
5	119	20	20,75	-10,17	18,09	0,00	0,00	-10,16	18,09	983,19	912,95
6	101	20	30,28	-5,95	29,69	0,00	0,00	-5,95	29,68	977,24	942,64
1	68	22	61,72	22,75	57,37	0,01	-0,01	22,76	57,36	1000,00	1000,00

6.6.6. Calculo de coordenadas

Para estos cálculos recurrimos a los conceptos de geometría analítica

6.6.6.1. Distancia entre dos puntos

Ya que conocemos la expresión que nos permite la distancia en un plano cartesiano, se modifica, como se menciono anteriormente y

tenemos:

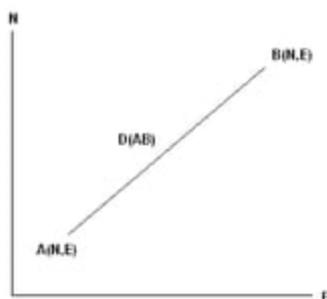


Fig. 86

$$D_{AB} = \sqrt{(E_B - E_A)^2 + (N_B - N_A)^2} \quad (16)$$

6.6.6.2. Dirección de una línea

El rumbo de una línea, definido ya, se determina a partir de las coordenadas de sus puntos extremos, según la siguiente fórmula:

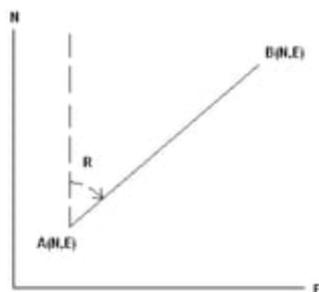


Fig. 87

$$R_{AB} = \text{arcTan} \frac{E_B - E_A}{N_B - N_A} \quad (17)$$

Nota:

$E_B - E_A$ = Numerador (Num), $N_B - N_A$ = Denominador (Dem)

Dem + y Num + → NE

Dem + y Num - → NW

Dem - y Num + → SE

Dem - y Num - → SW

Casos especiales

1. Si Num = 0 y Dem > 0 Az = 0°, R = N
2. Si Num = 0 y Dem < 0 Az = 180°, R = S
3. Si Dem = 0 y Num > 0 Az = 90°, R = E
4. Si Dem = 0 y Num < 0 Az = 270°, R = W

6.7. Calculo de Áreas

El área es la medida de una superficie plana encerrada por una poligonal, se trata de calcular su valor empleando coordenadas o gráficamente.

6.7.1. Método de las cruces

Dadas las coordenadas de los vértices de un polígono.

1. Organizar consecutivamente las coordenadas de los vértices en columna.
2. Añadir posterior las coordenadas del último punto N_N, E_N , las coordenadas del primer punto N_1, E_1 .
3. Multiplicar, hacia la derecha, cada norte N_i por la Este del punto siguiente E_{i+1} , sumar algebraicamente estos productos, es la sumatoria a derecha $\sum \rightarrow$.
4. Multiplicar, hacia la derecha, cada Este E_i por la Norte del punto siguiente N_{i+1} , sumar algebraicamente estos productos, es la sumatoria a izquierda $\sum \leftarrow$.

5. La mitad de la diferencia de las dos sumatorias (en valor absoluto) es el valor del área.

$$\text{Área} = \left| \frac{\sum \rightarrow - \sum \leftarrow}{2} \right| \quad (18)$$

La fórmula genera es:

$$\text{Área} = \frac{1}{2} \left| \sum N_i * E_{i+1} - \sum E_i * N_{i-1} \right| \quad (19)$$

6.7.2. Planímetro Polar

Instrumento que permite determinar el área de una figura plana cerrada, recorriendo su perímetro dibujado en un plano a escala conocida.



Fig. 88

Consiste esencialmente de:

- ∴ Polo o punto de anclaje
- ∴ Brazo polar (de longitud fija o variable)
- ∴ Contador de vueltas (dispositivo de lectura), con nonio de 0,001 vuelta
- ∴ Brazo trazador
- ∴ Punta o Lupa trazadora.



Fig. 89 Planímetro polar de rodillos

Empleo:

Se puede emplear con el polo dentro o fuera de la figura que se va a trabajar. Vamos a indicar el procedimiento con el polo afuera.

1. Se ubica el polo en tal forma que la punta trazadora pueda recorrer todo el perímetro de la figura a medir, de no ser posible, se debe dividir en dos o más áreas menores.
2. Se señala un punto sobre el perímetro, se ubica allí la punta trazadora, se lee y anota la lectura (L_i inicial, L_i) del contador de vueltas.
3. Se recorre con la punta trazadora el lindero en sentido horario hasta regresar al punto inicial, se lee de nuevo el vernier y se anota la lectura (L_f final L_f); el perímetro se debe recorrer por lo menos tres veces y promediar el valor leído.
4. Cálculo del área :

Diferencia de lecturas, $L = L_f - L_i$

Área del dibujo, $\text{Área} = K * L$

K es una constante que depende del planímetro empleado.

6.7.3. Planímetro de Puntos

El planímetro de puntos es una cuadrícula de puntos espaciados de una manera uniforme y dibujada usualmente sobre un material transparente.

Para determinar el área de un dibujo empleando este planimetro, se coloca sobre el dibujo a escala, se cuentan los puntos que están dentro de la figura y los que se encuentre sobre el perímetro uno sí y otro no, para mejorar los resultados esta operación se realiza varias veces y se promedia.

Para calcular el resultado se relaciona la densidad de puntos por unidad de área en el papel con la escala de áreas.

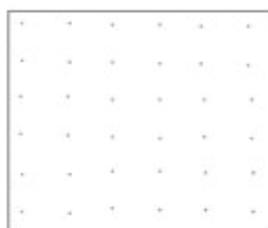


Fig. 90

6.7.4. Por descomposición en figuras

El cálculo de área por descomposición en figuras de área conocida consiste en formar dentro del perímetro a trabajar triángulos y trapecios que son figuras cuya área es fácilmente calculable

5.8 Normas ALTA-ASCM¹

	Urbano	suburbano	Rural	Montañoso
Lectura directa del instrumento (2)	20" < 1" > 10"	20" < 1" > 10"	20" < 1" > 20"	1" < 1" > 1"
Lectura a estima del instrumento	5" < 0.1" > NA	10" < 0.1" > NA	NA	NA

¹ American Land Title Association – American Congress on Surveying & Mapping

(3)				
Numero de observaciones por estación (4)	2 D & I	2 D & I	1 D & I	1 D & I
Dispersión de la media D & I no debe exceder (5)	5''<0.1''>5''	10''<0.2''>10''	20''<0.3''>20''	30''<0.5''>30''
Cierre angular	10''√N	15''√N	20''√N	30''√N
Cierre lineal (6)	1:15000	1:10000	1:7500	1:5000
Medición de distancias (7)	EDM o doble medición con cinta de acero	EDM o cinta de acero	EDM o cinta de acero	EDM o cinta de acero
Mínima longitud medida (8), (9),(10)	81 m, 153m, 20m	54m, 102m, 14m	40m, 76m, 10 m	27m, 51 m, 7m

Nota 2: 10''; Teodolito de micrómetro, <1'> Teodolito de escala, 10'' (*Negrilla*): Teodolito electrónico, 20'' (itálica): Teodolito de micrómetro o vernier.

Nota 3: *Calculado*

Nota 4: *D: Directa, I: Inversa*

Nota 5: *Calculo de la dispersión*

Nota 6: *Error de cierre en distancia*

Nota 7: *EDM y cinta aplicando todas la correcciones*

Nota 8: *Error en EDM 5 mm*

Nota 9: *Cinta calibrada*

DISTANCIAS VERTICALES



7.1 Definiciones

Altimetría: Es la parte de la topografía que tiene por objeto el estudio de los métodos y procedimientos para representar el relieve del terreno



Fig. 91

Línea Horizontal: es una línea que en topografía se considera recta y tangente a una superficie de nivel

Línea Vertical: Línea que sigue la dirección de la gravedad, indicada por el hilo de una plomada.

Línea de nivel: Línea contenida en una superficie de nivel y que es, por tanto curva

Angulo Vertical: es un ángulo que existe entre dos líneas que se intersecan en un plan vertical Generalmente se entiende que una de estas es una línea horizontal

Diferencia de elevación o desnivel: es la distancia vertical que hay entre dos superficies de nivel en las que están ubicados los puntos.

Datum: Sistema geométrico de referencia empleado para expresar numéricamente la posición de un punto sobre el terreno. Cada datum se define en función de un elipsoide y por un punto en el que el elipsoide y la tierra son tangentes.

Elevación o Cota: Distancia medid sobre un plano vertical, desde un plano tomando como referencia (usualmente el nivel de mar), hasta el punto considerado.

Superficie de Nivel: Superficie curva que en cada punto es perpendicular a la línea de una plomada (la dirección en que actúa la gravedad)

Plano horizontal: Plano perpendicular a la dirección de la gravedad.

Nivel medio del mar: Altura promedio de la superficie del mar según toda las etapas de la marea en un periodo de 19 años.

Banco de Nivel: Punto de referencia cuya elevación con respecto a un plano es conocida. Se usa como punto de arranque o punto de cierre de una nivelación

Control Vertical: Serie de bancos de nivel u otros puntos de cota conocida que se colocan para un trabajo de topografía.

Curvatura y refracción: En los trabajos de nivelación, es necesario considerar los efectos:

- ◇ La Curvatura Terrestre
- ◇ La Refracción Atmosférica

Entonces,

$$R^2 + AE^2 = (R + c)^2 = R^2 + 2Rc + c^2$$

$$AE = c (2R + c)$$

$$c = \frac{AE^2}{2R + c} \quad (1)$$

Ya que c es muy pequeño comparado con R , una aproximación razonable de la curvatura terrestre es:

$$c = \frac{AE^2}{2R} \quad (2)$$

Considerando un radio de 6371 Km., la corrección por curvatura es:

$$C_m = 0.0785 K^2 \quad (3)$$

En donde K es la distancia desde el punto de tangencia en kilómetros. De esta forma la corrección por curvatura para una distancia de 500 m. es de 2.0 cm.

Debido al fenómeno de la refracción atmosférica, los rayos de luz se refractan, o sea, se doblan ligeramente hacia abajo. Este doblamiento de los rayos hacia el centro de la tierra tiende a disminuir el efecto de la curvatura terrestre en un 14%, aproximadamente. AB representa la línea de visual refractada, y la distancia BD representa el efecto combinado de la curvatura y la refracción. Considerándose $(c \& r) = BD$ calculando a partir de la siguiente ecuación:

$$(c \& r) = 0.0675 K^2 m \quad (4)$$

Pendiente (P) :Inclinación del terreno (de una línea) con respecto a la horizontal; se indica en porcentaje (%) o como una magnitud angular:

$$P = \frac{\text{Desnivel}}{\text{Distancia}} * 100 \quad (5)$$

$$P = \text{Arc Tan} \frac{\text{Desnivel}}{\text{Distancia}}$$

Ejemplo:

Determinar la pendiente de un terreno si en una distancia de 153.80 m el desnivel medido es de 7.25 m.

$$P = \frac{7.25 \text{ m}}{153.80 \text{ m}} * 100 = 5.34\%$$

$$P = \text{Arc Tan} \frac{7.25}{153.80} = 003^{\circ}03'$$

Desnivel: Distancia Vertical o diferencia de nivel entre dos puntos, se expresa como:

$$Dn = \text{Pendiente} * \text{distancia (Horizontal)} \quad (6)$$

Ejemplo:

Dada la pendiente de una línea 8%, determinar el desnivel entre sus extremos en una distancia de 40 m.

$$Dn = 0.08 * 40\text{m} = 3.20$$

Nivelación: operación para determinar desniveles entre dos o más puntos.

7.2. Medición directa e indirecta de distancias verticales

Las diferencias de elevaciones o desniveles pueden medirse utilizando los métodos siguientes:

- ✧ *Nivelación directa:* En la que se mide en forma directa las distancias verticales. El método mas preciso para la determinación de elevaciones es la nivelación directa y es el que se utiliza con mayor frecuencia.
- ✧ *Nivelación indirecta o trigonométrica:* Es el método para determinar la diferencia de altura de la superficie terrestre con base en la medida de un ángulo de inclinación de una visual desde un punto a otro conociendo la distancia entre ellos ya sea medida o calculada si esta nivelación sobre puntos de una red planimétrica.
- ✧ *Nivelación con mira:* es en la que se miden distancias verticales con taquimetría, utilizando el tránsito y la mira.
- ✧ *Nivelación barométrica:* Es la determinación de las diferencias de alturas de los puntos por medio de las mediciones de las presiones atmosféricas en estos puntos con la ayuda de barómetros especiales o también llamados baroniveles

Otros tipos de nivelación

Nivelación geodesia: Se emplea para determinar la diferencia de alturas de puntos de la superficie terrestre por los siguientes métodos geométrico, trigonométrico, barométrico, mecánico, hidrostático y aéreo (aeronivelación).

Nivelación astronómica: Tiene como objetivo determinar con base en la desviación de las líneas de la plomada las alturas del geoide.

Astronomogravimétrica: Tiene por objetivo determinar las alturas de los puntos de la superficie terrestre del cuasi geoide sobre el elipsoide de referencia con base en la desviación de las líneas de la plomada y las anomalías de la fuerza de gravedad en el aire libre y en un espacio limitado por lo general a lo largo de los itinerarios de nivelación.

Nivelación hidrostática: Es el método para determinar las diferencias de alturas de los puntos basado en el empleo de las características de los líquidos colocados en recipientes que se comunican unos a otros.

Nivelación mecánica: Llamada también automática, es el método para determinar la diferencia de altura de los puntos del lugar promedio de perfilografos, colocados en un automóvil; estos equipos pueden dibujar automáticamente el perfil o solamente las alturas de los puntos. La forma de trabajo de los perfilografos se basa en los centros mecánicos o en el empleo de superficies horizontales de líquido. Esta nivelación se emplea en casos usando el terreno permite emplear gran velocidad de nivelación permitiendo obtener una precisión de algunos centímetros por kilómetro.

7.3 Niveles de Precisión Óptico mecánico

Es un instrumento que se componen básicamente de un anteojo giratorio colocado sobre un eje vertical y se emplea para establecer un eje de puntería horizontal, de tal forma que se puedan determinar diferencias de alturas y efectuar replanteos.

La precisión de un nivel depende en principio, de la sensibilidad del nivel tubular y el aumento del anteojo.

7.3.1. Nivel Dumpy

En este, el telescopio y su eje vertical están modelados en una sola pieza. La cabeza de nivelación consta de dos placas; el telescopio esta montado en la placa superior y la inferior atornillada de manera directa sobre el Trípode.

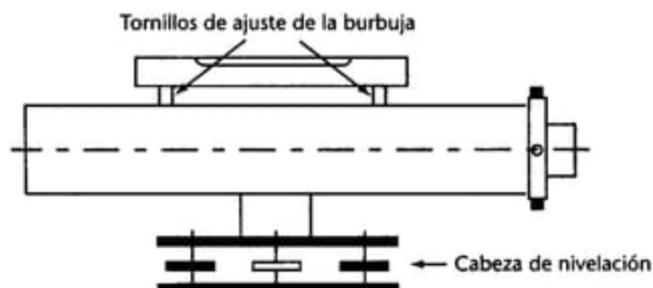


Fig. 92. Nivel Dumpy

7.3.2. Nivel Basculante

En este nivel el telescopio no está unido de manera rígida al eje vertical, sino que puede inclinarse ligeramente en el plano vertical alrededor de un eje localizado debajo del telescopio. Este basculamiento está controlado por un tornillo de movimiento fino ubicado en el extremo ocular, y la burbuja se lleva al centro de su recorrido en cada lectura sobre la mira.

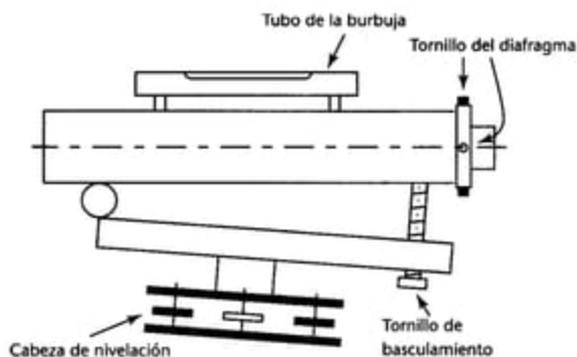


Fig.93. Nivel Basculante

7.3.3. Nivel de placa plano paralela

El micrómetro de placa plano paralela es un aditamento practico y de fácil manejo para el aumento considerable de precisión.

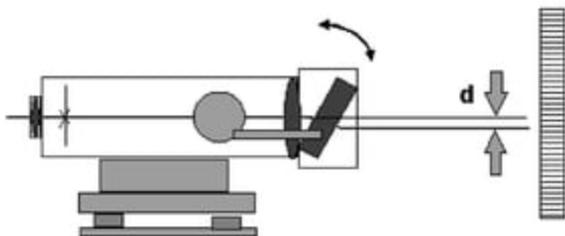


Fig. 94. Esquema de la placa plano paralela

Sencillamente se enchufa sobre el antejo del instrumento, cuadra la cruz del retículo sobre un centímetro entero y lee los centímetros, en la mira los milímetros, decimos y según el modelo los centésimos en el micrómetro de la placa plano paralela.



Fig. 95. Nivel de precisión y placa plano paralela

7.3.4. Nivel Automático

Este tipo de instrumento de nivelación sin burbuja unidad. Los telescopios de estos instrumentos deben ser más o menos nivelados; un dispositivo compensador, en general basado en sistema pendular dentro del telescopio, corrige el desnivelamiento residual.

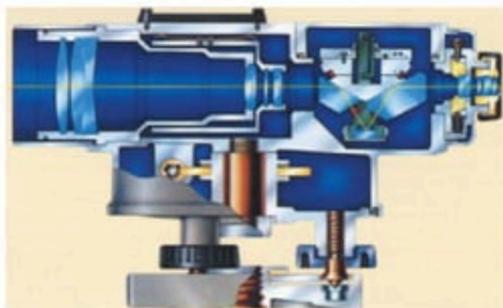


Fig. 96. Nivel automático

7.3.5. Nivel Digital

Alrededor de 1990 aparecen estos niveles, el primero de un nuevo tipo de nivel capaz de rastrear en forma electrónica una mira codificada, eliminando así el riesgo de error humano en la lectura y permitiendo que los datos se recolecten de manera automática en una computadora o registro electrónico de datos.

Se recomienda emplear un nivel digital en aquellos trabajos en los que se requiera efectuar un número considerable de nivelaciones ahorrando así hasta un 50% del tiempo.



Fig. 97

7.3.6. Nivel Láser

7.3.6.1. Nivel de Plano o Giratorio (Rotativos)

En este tipo de instrumento, el rayo láser giratorio hace un barrido sobre un plano horizontal, el cual se toma como referencia para calcular o controlar alturas tales como las de las marcas establecidas.

Sobre la mira se coloca un detector sobre el cual incide el rayo del láser con el cual se toma la lectura de altura directamente de la mira. Por lo tanto no es necesario que el topógrafo se coloque en el punto en el que se hace estación.



Fig. 98

7.3.6.2. Nivel de Línea Láser

Son iguales a los anteriores, pero sin elemento giratorio de haz, se utilizan para alineaciones de tuberías y túneles, Suelen permitir la inclinación con pendiente controlada.



Fig. 99

Adaptador Ocular Láser

Es un dispositivo emisor láser que se puede conectar a otros instrumentos como niveles y tránsito. Su aplicaciones principales son: Túneles, canales y en la industria.



Fig. 100

7.3.7. Niveles de Mano

Locke: Es un tubo que fija una línea de mira o visual, sin ningún dispositivo de aumento (algunos poseen aumento), por medio de un frasco de burbuja adherido a él. El observador puede distinguir simultáneamente la mira y la burbuja, si acerca el instrumento a sus ojos. No es un instrumento preciso pero es muy útil para tareas sencillas.



Fig. 101

Abney o Clisímetro: Es una variante del Locke, el cual esta provisto de un pequeño frasco de burbuja fijo a un semicírculo

graduado, que gira alrededor de un eje normal al mismo. Este dispositivo se usa para verificar pendientes.



Fig. 102. Abney



Fig. 103. Clisimetro

7.3.8. Instrumentos de Verticalidad

Existen equipos para definir verticalidad cenit-nadir, de paliación en la determinación de verticalidad de edificios o torres y topografía de minas.



Fig. 104. Plomada Cenit-nadir

7.3.9. Miras y accesorios

Las miras que se usan en trabajos ordinarios de nivelación son piezas seccionales y se ensamblan ya sea de manera telescópica o

mediante uniones abatibles que se unen en forma vertical. La mayoría de los diseños se hacen en aleaciones de aluminio, aunque todavía existen miras en madera.

Se emplea en la nivelación y en taquimetría, la mira es una de las herramientas de trabajo por eso a ella al igual que al nivel le corresponden altas exigencias técnicas. Puede ser:

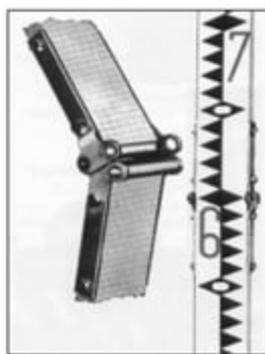


Fig. 105. Plegable

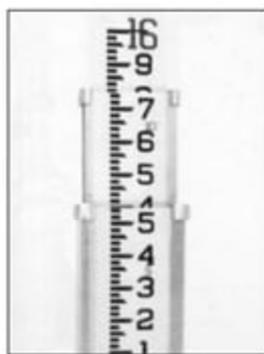


Fig. 106. Telescópica

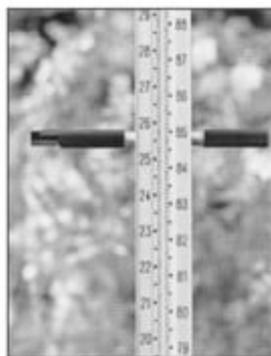


Fig. 107. Mira invar de doble escala

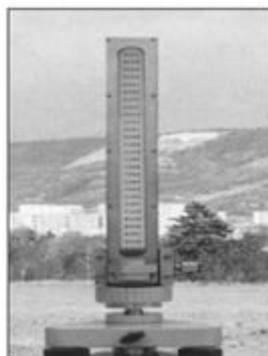


Fig. 108. Mira para mediciones industriales

Regularmente de 4 m de longitud, pintada en franjas alternas negra y roja de 1m; divididas en decímetros y éstos en centímetros; con numeración que permite leer el centímetro y por apreciación, el milímetro (también puede venir graduada en pies).



Fig. 109. Mira de código de barras

7.4. Nivelación Simple

Es aquella en la que desde una sola posición del instrumento se puede conocer las cotas de todos los puntos del terreno que se desea nivelar.

7.4.1. La regla de nivelación

Constituye el dispositivo más sencillo que permite medir las diferencias de altura. Una regla de madera, cuya longitud es generalmente de alrededor de 3 m, se coloca horizontal con ayuda de un nivel tubular; la distancia vertical entre esta regla y el punto del terreno se puede medir entonces con ayuda de una mira.

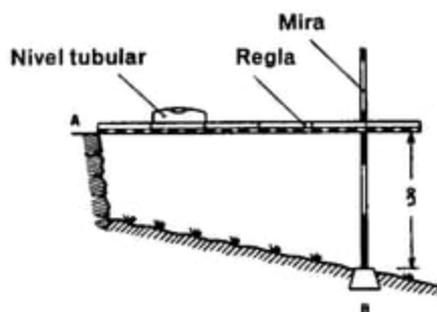


Fig. 110

Estos dispositivos son sin embargo, imprecisos y su empleo se limita a distancias que permiten leer, a simple vista, sobre la mira.

7.4.2. Nivelación con el prisma angular

Se coloca un prisma angular en posición horizontal, permite medir alturas con cierta exactitud. La plomada de cordón L aparece en el prisma como imagen horizontal L' de forma que se puede apuntar a un mira de nivelación. Lo mismo que con un nivel se realizan lecturas de frente y de espalda. La longitud de la visual es en ambos casos la misma.

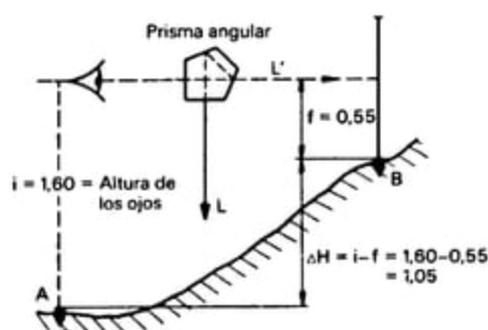


Fig. 111

Prisma = Nivel; Trípode = observador; altura del instrumento = altura de los ojos; visual = imagen L' de la plomada.

7.4.3. Con nivel

La diferencia de nivel entre dos puntos puede ser determinada de tres maneras diferentes:

Método del punto extremo

Colocamos el nivel por encima de uno de los puntos, por ejemplo, sobre el conocido punto A y medimos la altura i del instrumento, o sea, la distancia entre el punto A del terreno y el eje óptico del anteojo. Ponemos la mira de nivelación sobre el punto B y efectuamos la lectura f (de frente). Diferencia de nivel entre A y B, $\Delta H = +i - f$

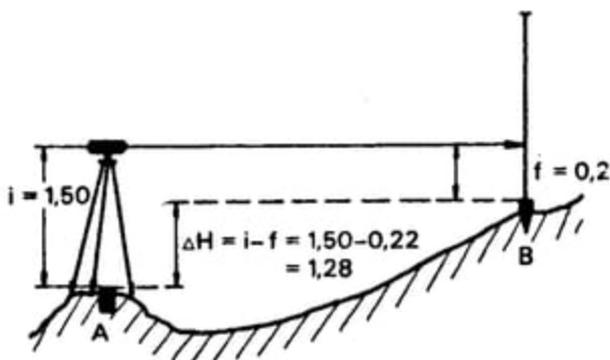


Fig. 112

Si colocamos el instrumento por encima del nuevo punto B y la mira sobre el punto, cuya elevación h_A Es conocida, efectuamos la

lectura e (de espalda) en la mira, con lo que obtenemos la diferencia de altura entre A y B, $\Delta H = +e - i$

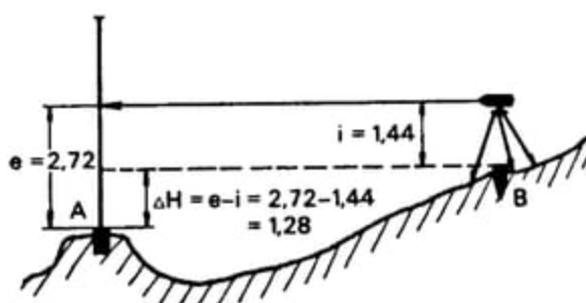


Fig. 113

Método del punto medio

El instrumento se coloca entre los dos puntos, de manera que las dos distancias a ellos sean poco más o menos iguales, pero sin preocuparse de que el instrumento se estacione en la línea recta que une los dos puntos. La lectura R (visual de espalda) es efectuada sobre la mira colocada en el punto A; esta mira se transporta en seguida al punto B donde a su vez se hace la lectura V (Visual de frente). La posición del instrumento no ha sufrido ninguna modificación durante este tiempo. La diferencia de nivel es por consiguiente: $\Delta H = R - V$

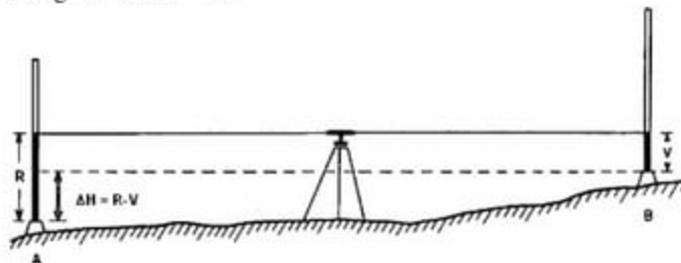


Fig. 114

7.4.4. Detrás de los puntos

El terreno es tal que impide estacionar el nivel sobre ninguno de los dos puntos ni entre ellos. Pero existe la posibilidad de estacionarlo detrás de los puntos A o B. Efectuamos la lectura e (de espalda) en el mira situada sobre A y seguidamente la lectura f (de frente) en B. También esta forma resulta que la diferencia de nivel entre A y B, $\Delta H = +e - f$.

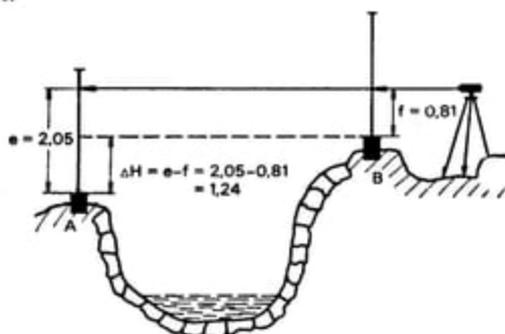


Fig. 115

7.4.5. Nivelación Geométrica

También llamada nivelación por alturas, consiste en determinar la diferencia de altitud entre los puntos observados, realizando visuales horizontales dirigidas a miras verticales.

Altura instrumental: Elevación del plano de vista con respecto a un plano de referencia asumida. Note que la altura instrumental no significa la altura del telescopio sobre el terreno donde está armando el nivel.

Vista atrás: o vista a espaldas o vista mas; una visual tomada sobre una mira situada sobre un punto de elevación conocida para determinar qué tan alto está el plano de vista sobre ese punto y establecer la altura del instrumento con respecto al plano de referencia asumida.

Vista adelante: o vista de frente o vista menos, una visual tomada sobre una mira colocada en un punto de elevación desconocida para determinar qué tanto por debajo del plano de vista se encuentra ese punto, esto determina la elevación del punto con respecto al plano de referencia.

Vista intermedia: Visual tomada sobre la mira colocada en un punto para determinar su elevación o establecerlo a una elevación dada. La característica distintiva de un punto intermedio es que sobre él se dirige únicamente una visual, una vista menos.

Punto de Cambio: Un punto sobre el cual se toma una vista más con el objeto de determinar la altura instrumental. La característica distintiva de un punto de cambio es que sobre él se dirigen dos visuales; una vista menos desde una posición del nivel y una vista más de la siguiente posición.

7.5.1. Nivelación Diferencial

Es la que tiene por objeto determinar la diferencia de nivel entre dos puntos, generalmente bancos de nivel.

Si la distancia que separa dos puntos A y B es considerable, la diferencia de altura entre los mismos se determina nivelando varios tramos.

Se toma las distancias aproximadamente iguales entre el instrumento y las dos miras, con esto se eliminaría cualquier error en las lecturas debido a la curvatura terrestre y a la refracción atmosférica.

1. Colocamos el instrumento en el punto S1.
2. Colocamos la mira completamente vertical en el punto A, Tome la lectura y regístrela (lectura atrás V+).
3. Gire el instrumento y coloque la mira en el punto 1 sobre una placa, estaca o marca en el terreno. Tome la lectura y regístrela (lectura V-).

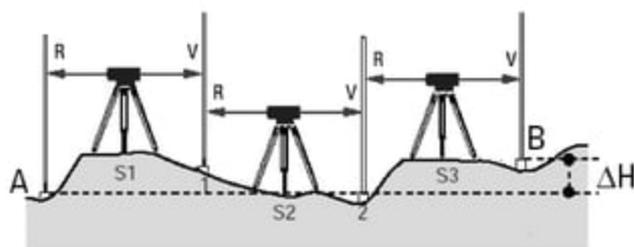


Fig.116

- Coloque el instrumento en el punto S2 (la mira deberá permanecer sobre el punto 1).
- Gire con cuidado la mira sobre el punto 1, de manera que mire hacia el instrumento.
- Tome la lectura de la mira y continúe el mismo procedimiento hasta el punto B.

La diferencia de altura entre los puntos A y b es igual a la suma de la lectura atrás (V+) y la suma de la lectura adelante (V-).

Modelo de cartera

Pto	V+	A.I.	V-	Cota					
Bm1	1,572	1534,200		1532,628					Bloque Medicina U. Q.
C#1	1,322	1534,122	1,400	1532,800					
C#2	1,543	1534,314	1,351	1532,771					
C#3	1,579	1534,411	1,482	1532,832					
C#4	1,471	1534,151	1,731	1532,680					
C#5	3,990	1536,846	1,295	1532,856					
C#6	3,475	1539,798	0,523	1536,323					
C#7	3,091	1541,848	1,041	1538,757					
C#8	1,208	1541,495	1,561	1540,287					
Bm2			1,430	1540,065					Bloque Ingeniería
Σ	19,251		11,814	1540,065					
	-11,814			1532,628					

	-----		-----						
	7,437	Comprobación	7,437						

7.5.2. Nivelación para obtener un perfil

La nivelación de perfiles longitudinales es la determinación de elevaciones, de puntos del terreno a intervalos regulares a lo largo de una línea dada.

Suponiendo se que ya se ha efectuado el trazado sobre el terreno con estacas cada 10 metros, el topógrafo determina primero, la altura del instrumento, el cual deberá instalarse convenientemente cerca del trazado. En seguida, se hacen lecturas hacia adelante con la mira sobre el terreno, en cada estaca y en los puntos intermedios donde ocurra un cambio notable en la pendiente del terreno.

Puesto que estas lecturas de la mira sobre el terreno se efectúan únicamente para fines de dibujo y no para determinar elevaciones de los bancos de nivel, anota solo hasta el centímetro. Así pues, todas las elevaciones de las estaciones del terreno se calculan también hasta el centímetro.

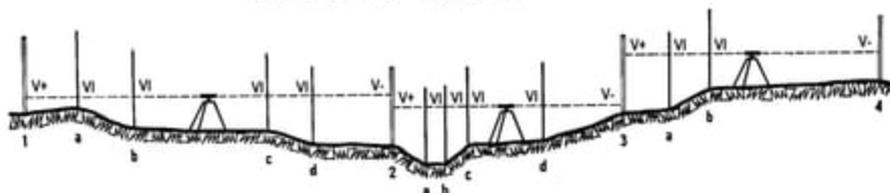


Fig. 117

Modelo de cartera

Pto	V+	A.I.	V-	VI	Cota				
Bm1	1,761	501,761			500,000				Mojón 1, B. Ingeniería
KO+190				1,54	500,22				u. Q
CP1, X0+195,20	3,987	504,733	1,015		500,75				
KO+200				0,73	504,00				
CP2, X0+200,45	2,907	506,966	0,674		504,059				
KO+210				1,49	505,48				

<i>KO+220</i>				1,04	505,93				
<i>KO+230</i>				0,14	506,83				
<i>ch. KO+240</i>	3,921	510,787	0,100		506,866				
<i>Bm2</i>			2,630		508,157				<i>Mojón 2 B. Medicina</i>
									<i>u. q.</i>
	12,576		4,419		508,157				
	4,419				500,000				
	8,157	←	<i>Comprobación</i>	→	8,157				

7.5.3. Métodos de comprobación

7.5.3.1. Nivelación y contranivelación: Es la realización de dos nivelaciones una de ida y otra de regreso, puede ser por los mismos puntos o por otro camino o puntos diferentes, es la nivelación más recomendable.

7.5.3.2. Doble punto de cambio: o método de Cholesky. De este modo se hace lo mismo que la nivelación anterior, pero las dos nivelaciones se llevan al mismo tiempo, o tres, tiene en común y primera y la última lecturas, se puede llevar en una sola página o en páginas separadas para evitar equivocaciones.

7.5.3.3. Doble altura instrumental: En este procedimiento las nivelaciones que se llevan, quedan totalmente independientes, pues se van comprobando las diferencias de lecturas entre los cambios consecutivos, no tiene en común ninguna lectura, como en el caso anterior, se pueden realizar dos o más nivelaciones.

6.6. Nivelación Trigonométrica

Método alimétrico para determinar el desnivel de un punto respecto de otro, midiendo la distancia cenital o el ángulo de pendiente de la visual, junto con la distancia entre ambos puntos.

En la figura 35 vemos la situación mas común: la visual es corta, se conoce la distancia horizontal D , y el ángulo vertical α se midió con un transitó. La altura del telescopio sobre el punto A se representa por i , y se lee el ángulo vertical a un punto situado a una altura o sobre la estación B .

El desnivel esta dado por la siguiente expresión:

$$\Delta_{AB} = D \tan \alpha + i - o \quad (7)$$

Cuando las visuales de son de mas de 450 metros, se aconseja tomar en cuenta los efectos de curvatura y refracción al calcular la altura

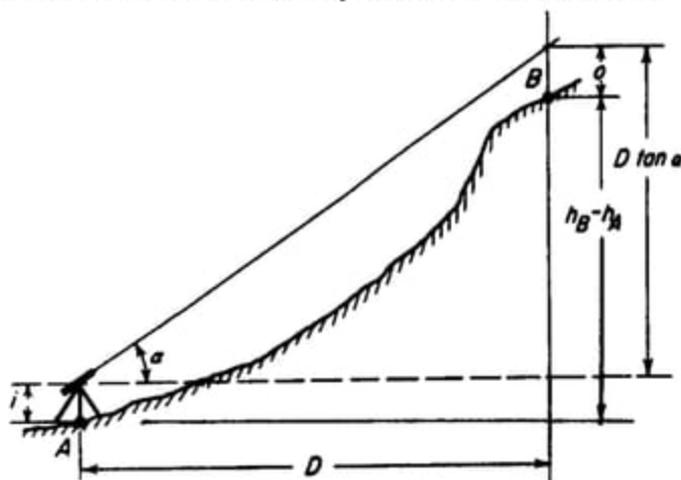


Fig. 118

Si la distancia es mayor a 450, como en la figura 98. Aunque no se muestra la altura del instrumento, i , ni del objeto o . Los efectos aislados de la refracción y de la curvatura se designan con h_r y h_c respectivamente.

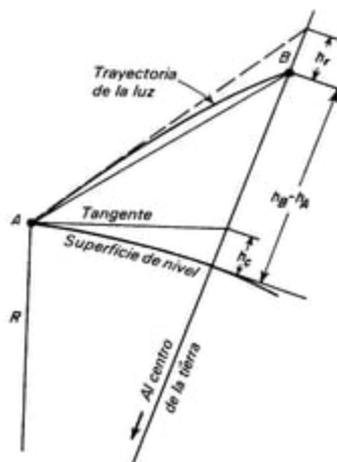


Fig. 119

En todos los casos de evaluarse la C y R e incluirse en la ecuación, como sigue:

$$\Delta_{AB} = D \tan \alpha + 0.0675 K^2 + i - o \quad (\text{K en Km}) \quad (8)$$

Nótese que para un ángulo de elevación (visual sobre la horizontal), el signo del término C y R es positivo, en tanto que será negativo para un ángulo de depresión (Visual bajo la horizontal).

Si la distancia inclinada, s , de A hacia B se hubiere determinado con un instrumento de medición electrónica de distancia (EDM), el término principal de la altura en las ecuaciones (7) y (8) sería: $s \text{ sen } \alpha$

Ejemplo:

La distancia horizontal entre dos puntos es de 1250.40. El ángulo cenital fue de $86^\circ 38'$, con la altura del telescopio igual a la altura de la mira. Calcule el desnivel entre A y B.

$$\text{Angulo vertical} = 90^\circ - 86^\circ 38' = 3^\circ 22'$$

$$D \tan \alpha = 1250.40 * 0.058827 = 73.56$$

$$C \text{ y } R = 0.0675 K^2 = 0.0675 (1.2504)^2 = +0.11$$

$$\text{Desnivel} = 73.67 \text{ m}$$

7.7. Nivelación Taquimétrica

Este tipo de nivelación se realiza con un taquímetro (transito con hilos estadimétricos), se determina las posiciones horizontales y vertical de cada punto visado.

El procedimiento a emplear consiste en leer en cada posición de la mira:

- ❖ Los tres hilos
- ❖ El círculo Vertical
- ❖ El círculo horizontal, se utiliza para determinar la posición planimétrica.
- ❖ La altura instrumental (i)

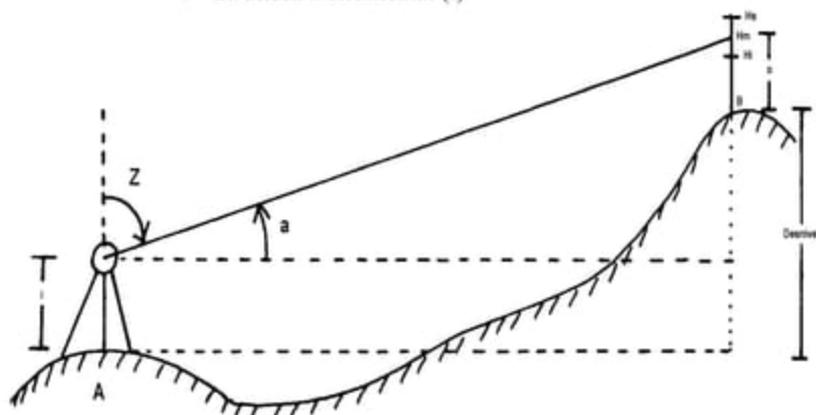


Fig. 120

Se calcula la distancia horizontal, y el desnivel con la siguiente expresión:

$$DE = \frac{1}{2} K s \text{ Sen } 2 a + (i - o) \quad (9)$$

Ejemplo

Con un tránsito en un punto A, se lee la mira así: Hs: 2.620 Hm: 2.32 Hi: 2.02

Angulo vertical: $-18^{\circ} 34'$

Angulo Horizontal: $47^{\circ} 18'$

$K = 100$

$$s = H_s - H_i = 2.620 - 2.020 = 0.60 \text{ m}$$

$$DH = K S \cos^2 a = 100 * 0.60 * \cos^2(-18^{\circ}34') = 53.92 \text{ m}$$

$$DE = K S \text{ Sen } 2 a = 100 * 0.60 * \text{Sen} (2 * (18^{\circ} 34')) = -18.11 \text{ m}$$

7.8. Nivelación Barométrica

Se determina por medio de un Barómetro, puesto que la diferencia de altura entre dos puntos se puede medir aproximadamente de acuerdo con sus posiciones relativas bajo la superficie de la atmósfera, con relación al peso del aire, que se determina por el barómetro.



Fig. 121

1. Es necesario colocar el altímetro sobre un punto de cota conocida y ajustarlo para que la lectura sea precisamente esta cota.
2. Enseguida se lleva el instrumento a los puntos cuyas cotas se desean conocer y en cada uno de ellos se registra la lectura correspondiente y la hora en que ésta se efectuó. Normalmente, la presión atmosférica varía en forma apreciable durante pequeños periodos del día, en vista de lo cual se usan dos altímetros, uno se coloca en la primera estación (de cota conocida) y se toman lecturas de referencia a intervalos regulares. A medida que avanzan los trabajos, se anota cuidadosamente la hora de cada observación hecha con el otro altímetro, en los demás puntos y de esta manera se corrigen las lecturas de las alturas efectuadas en el mismo.
3. La última observación en el altímetro viajero deberá ser hecha en la estación inicial como un medio de verificación. Las alturas determinadas con un barómetro ordinario que se lleva de un punto a otro pueden dar errores de varios metros. Sin embargo, empleando barómetros extraordinariamente sensibles y técnicas especiales, se pueden determinar alturas con precisión de un metro o menor.



Fig. 122

7.9. Especificaciones

La nivelación se clasifica en tres órdenes de exactitud. La clasificación y normas fueron elaboradas en estados unidos por el Federal Geodetic Control Committee y publicadas en 1974.

Orden	Clase	Error de cierre máximo permisible
Primero	I	4 mm \sqrt{K}
	II	5 mm \sqrt{K}
Segundo	I	6 mm \sqrt{K}
	II	8 mm \sqrt{K}
Tercero		12 mm \sqrt{K}

Nivelación ordinaria (USACE¹)

24mm \sqrt{K}

¹ US Army Corps of Engineers.

REPRESENTACION DEL RELIEVE



8.1. Generalidades

Un plano o mapa topográfico representa mediante símbolos adecuados, la configuración del terreno, llamado *relieve*, con inclusión de todos los detalles correspondientes, como son obras civiles, montañas, corrientes de aguas etc. La característica esencial de un plano topográfico es la representación del relieve. Los planos topográficos tienen multitud de aplicaciones como son: la preparación de proyectos de ingeniería; en trabajos de campo para geógrafos, geólogos, agrónomos, topógrafos y para todas las personas interesadas en obtener datos sobre el relieve y las pendientes de una determinada zona.

El primer plano topográfico es de lo que es actualmente territorio Iraquí, al sur de Bagdad, en plena Mesopotamia, se levantan las ruinas de la ciudad sumeria de Nippur, centro genésico de la civilización universal.

En 1899, arqueólogos de la Universidad de Pensilvania que trabajaban en el lugar, hallaron dentro de un jarrón de terracota, una variada colección de tablillas de arcilla, que integran actualmente la importante colección Hermann Hilprecht de tablillas sumerias.

Sorprendentemente una de ellas, de 21 por 18 cm., tenía prolijamente dibujado el plano de la ciudad.

Samuel Kramer, profesor de asiriología de la mencionada universidad, dice al respecto que este documento fue trazado unos 1500 años antes de J.C. con “la precisión y meticulosidad que hoy en día se exige a un cartógrafo moderno”.

Se trata de un plano parlante, donde se señala con cifras muy precisas una veintena de medidas topográficas. En él aparecen representadas las calles, palacios, templos, ríos y canales, poniéndose énfasis en detallar el sistema de murallas que rodeaba la ciudad y sus puertas de acceso, hecho que refleja la finalidad militar del documento.

Es notable la conservación de la escala, nos dice Kramer en su descripción del documento, coincidiendo la gran mayoría de las medidas (expresadas en sistema cuneiforme), con los resultados obtenidos en el levantamiento de la ciudad realizado en base, a los restos hallados en el terreno. Para ilustrar esto, diremos a modo de ejemplo que, el actual canal Shatten-Nil, figura con un ancho de 4 gars sumerios, es decir 24 metros, medida que conserva en la actualidad.

Las distancias entre las puertas de acceso a la ciudad amurallada aparecen igualmente claramente representadas en la carta, y en coincidencia con las obtenidas actualmente tras el trabajo de los arqueólogos.

Resulta interesante señalar que la numeración sumeria se basaba en el sistema sexagesimal donde el entero (o la unidad) se representaba por el valor 60 y la mitad (0.5) por 30. Así la medida 7.50 se expresaba en notación sumaria como 7.30.

Este sistema evolucionó, pero perduró en el tiempo, convirtiéndose en el que adoptamos corrientemente hoy en día para dividir el círculo y la hora.

El hecho expuesto no hace más que demostrar que el origen de elementos esenciales a la agrimensura como la mensura y la representación cartográfica se pierde en la noche de los tiempos y se confunde con el origen de la civilización misma.

Pero, si deseamos extender nuestra indagación al origen de la necesaria correlación entre la técnica topográfica y el derecho civil, debemos encaminarnos al antiguo Egipto, donde resulta consecuencia directa del concepto de propiedad privada imperante en esa civilización.

El procedimiento elegido para representar el terreno debe reunir las condiciones siguientes:

1. Permitir encontrar la cota, aunque sea aproximada, de un punto cualquiera del terreno representado en el plano.
2. Indicar las pendientes
3. Hacer resaltar las formas del terreno de la manera más expresiva posible.

El relieve del terreno puede representarse de varias formas:

8.1.1 Mapas en relieve

Es una representación del terreno en tres dimensiones con escala horizontal y vertical, en realidad constituyen una miniatura del terreno representado.

Los materiales empleados para su elaboración son plásticos, cartón, papel. Es indudable que el mapa en relieves es el más inteligible de todos los métodos representativos del terreno; pero su uso está muy limitado por sus elevados costos y por el gran volumen que ocupan.

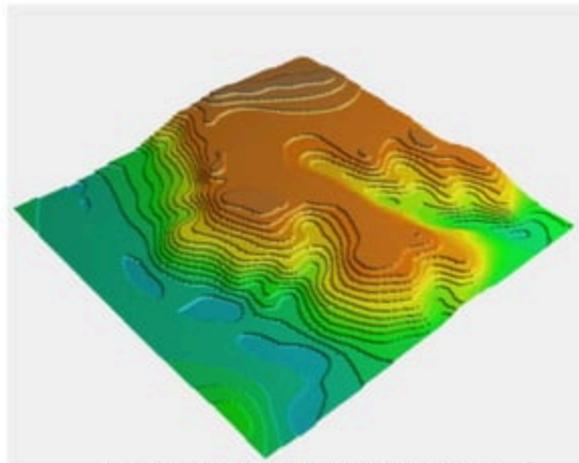


Fig.123. Mapas de Relieve o Maqueta

8.1.2. Trazos

En lugar de definir el terreno por secciones horizontales, se puede definir por medio de sus líneas de máxima pendiente, que, como sabemos, son perpendiculares a las curvas de nivel, tanto en el espacio como en sus proyecciones.

Se traza entre cada dos curvas de nivel o sus proyecciones cierto número de líneas de máxima pendiente, limitándolas en las curvas y teniendo cuidado de no trazar las de distinto nivel en prolongación unas de otras; borrando las curvas de nivel se tendrá un nuevo modo de representación, llamado *trazos*.

Al mismo tiempo, variando el espesor de los trazos y su separación, se podrá establecer una gama de tonos, de tal modo que cada tono indique una pendiente.

Para establecer prácticamente esta gama de tonos se ha imaginado el procedimiento denominado *ley de cuarto*, según la cual los trazos deben tener un grueso constante y la separación de uno a otro ser igual a la cuarta parte de su longitud; pero tiene un inconveniente de que en terreno muy llano, como la longitud de los trazos es muy grande, los tonos serán muy pálidos y muy oscuros en regiones montañosas.

El procedimiento de *trazos* necesita el previo dibujo de curvas de nivel y, además recarga mucho el dibujo, al cual hace perder claridad en la representación de la planimetría; esto hace que no sea muy frecuentemente empleado en la elaboración de planos topográficos, y así únicamente en mapas y croquis, en los cuales se precisa trazar matemáticamente las curvas de nivel, y su objeto es sólo dar sensaciones de relieve.

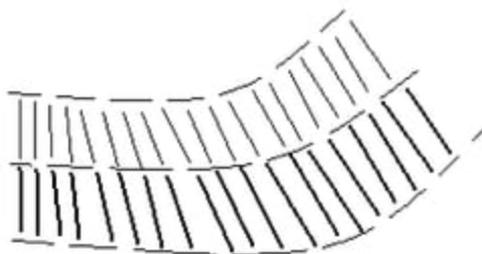


Fig. 124. Trazos

8.1.3. Sombras

Este procedimiento puede fundarse en el principio llamado de la *luz cenital*, que consiste en suponer que los planos están iluminados por la luz que cae verticalmente, o sea, perpendicular al plano de comparación. Por física se sabe que las partes horizontales serán las menos iluminadas, y la intensidad de la luz irá disminuyendo a medida que la pendiente sea mayor.

Esta mayor o menor intensidad de iluminación puede indicarse por trazos que se junten más en las partes más pendientes y dar tono más oscuro; o por tintas más o menos claras, según sea mayor o menor la pendiente, basándose en las curvas de nivel que limitarán las zonas de cada color.



Fig. 125. Sombras

También puede emplearse este procedimiento suponiendo que el terreno es iluminado por la luz oblicua dando un tono claro a las zonas que dan frente a la dirección de la luz y un tono cada vez más oscuro al terreno que opone a ella.

Este procedimiento muy artístico y que habla a los ojos, es sólo utilizable en planos de pequeña escala.

8.1.4. Curvas de nivel

El holandés Cruquius fue quien, en 1729, empleó por primera vez las curvas de nivel, para representar la forma del terreno, y después, en 1737, el francés Buache utilizó también estas curvas con el

mismo objeto. La solución de problemas dependiendo de estas, se debe principalmente al francés Ducarla (1765).

Se llama curvas de nivel a una línea imaginaria cuyos puntos están todos a la misma altura sobre un plano de referencia, pudiendo considerarse como la intersección de una superficie de nivel con el terreno. El concepto de línea de nivel puede entenderse fácilmente si nos imaginamos una represa; si el agua está calmada, estará al mismo nivel en todos los puntos de la orilla determinando, así esta orilla una curva de nivel; si se hace descender el nivel de aguas en 1 metro, la nueva orilla determinara una segunda curva de nivel; y descensos sucesivos del agua resultarán en la formación de nuevas orillas y nuevas curvas de nivel.

La representación del terreno, con todas sus formas, accidentes, tanto en su posición en un plano horizontal como en sus alturas, se logra simultáneamente mediante las *curvas de nivel*. Estas curvas se utilizan para representar en planta y elevaciones al mismo tiempo, la forma o configuración del terreno, que también se llama relieve.

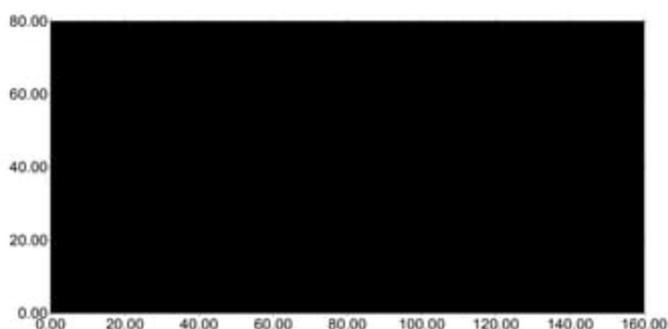


Fig. 126. Curvas de Nivel

8.1.4.1. Características de las curvas de nivel

- a. Todos los puntos sobre una curva de nivel tienen la misma elevación.
- b. Cada curva de nivel se cierra en si misma puede ser dentro o fuera de los límites del plano.

- c. Una curva de nivel que se cierra dentro de los límites de un mapa, indica, ya sea una elevación o una depresión. Cuando indica una depresión, esto se aclara con el símbolo
- d. Las curvas de nivel nunca pueden cortarse entre sí, excepto donde existe un saliente en voladizo, y debe haber dos intersecciones (es un caso raro)
- e. Sobre una pendiente uniforme, las curvas de nivel están igualmente espaciadas.
- f. Sobre una superficie plana, son rectas y paralelas entre sí.
- g. Donde las curvas de nivel están muy juntas, significa que el terreno es muy pendiente, si están muy separadas, indican que el terreno es plano o poco pendiente.
- h. La curva de nivel que pasa por cualquier punto, es perpendicular a la línea de máxima pendiente en ese punto.
- i. Dos curvas de nivel de la misma elevación no pueden unirse y continuar como una sola línea.
- j. No se puede dibujar una curva de nivel a través de una corriente de agua.
- k. Las curvas de nivel forma una U o V al cruzar una corriente, el vértice de la letra señala la dirección aguas arriba.

8.1.4.2. Clases

Las cuatro clases principales de curvas de nivel son:

- **Índice:** Es una curva de nivel acentuada en espesor que indica un múltiplo del intervalo de la curva de nivel.
- **Intermedias:** Son líneas que se muestran entre las curvas índices a intervalos indicados.
- **Suplementarias:** Se trazan y se muestran a la mitad o a la cuarta parte del intervalo indicado para las curvas de nivel básicas. Se usan para aumentar el relieve, al que nos se le agregaron los

accidentes topográficos más importantes, tal como e había indicado.

- **Depresiones:** Son líneas marcadas que delimitan las regiones de menor elevación que la del terreno circundante. En estas curvas siempre se colocan las marcas en dirección a la parte inferior del accidente.

8.1.4.3. Intervalo

La selección adecuada para un plano topográfico se base en:

1. La precisión deseada en las elevaciones que se leen en el plano
2. Los rasgos característicos del terreno
3. La legibilidad del plano
4. El costo

8.1.4.4 Precisión

La precisión con que las curvas de nivel representan al terreno depende de:

1. La exactitud y precisión de las observaciones
2. El número de observaciones
3. La distribución de los puntos localizados

8.1.5. Modelos digitales

La historia de los modelos data de mediados de los 50, cuando en el Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT) aparecieron las primeras ideas sobre la representación digital del terreno. Inicialmente para trabajos de ingeniería en construcción de carreteras (Ebner y Fritsch, 1986). Posteriormente en fotogrametría

y topografía llegando a ser la base fundamental de los sistemas de información geográfico y topográfico

Es la representación numérica (el computador la presenta como gráfica) de la superficie del terreno. La representación mas corriente es la que se genera por medio de un conjunto seleccionado de puntos (x, y, z) pertenecientes a la superficie considerada y por los algoritmos de interpolación que permiten la recreación de su forma en una determinada zona.

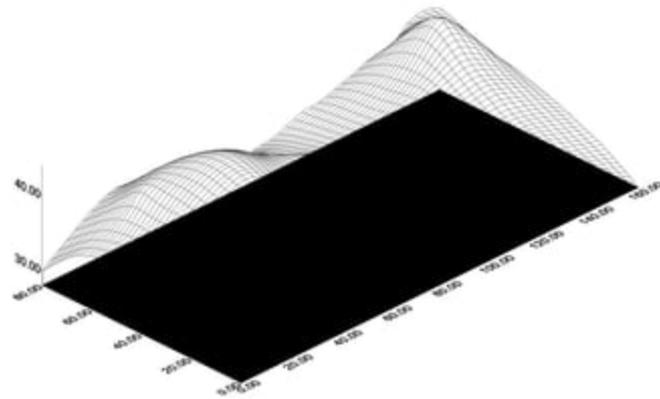


Fig. 127. Modelo digital

Modelo digital de elevaciones: Es la representación únicamente de las elevaciones del terreno.

Modelo digital de Alturas: Básicamente igual al anterior pero con respecto al nivel del mar.

Modelo Digital de Tierra (DGM): Es un modelo digital de la superficie sólida de la tierra.

Modelo Numérico de Terreno: Es una representación matemática de la distribución espacial de una determinada característica vinculada a una superficie real. La superficie es en general continua y el fenómeno que representa puede ser variado

Modelación de Superficies: Es la que describe los procesos de representación física y artificial de una superficie mediante un modelo geométrico

8.2 Nivelación de Superficies

Se utiliza para determinar la conformación de un terreno, se determina las tres coordenadas (posición horizontal y elevación) de puntos que pueden estar ubicados regularmente o irregularmente.

8.2.1. Cuadrícula

Conjunto de puntos ordenados regularmente a distancias iguales. Este es un método ideal en terrenos más o menos planos, en especial si su área es pequeña. Se marcan cuadros de 10 a 20 m por lado (de acuerdo con la precisión necesaria) en forma de retícula y se mide las elevaciones en las esquinas, cada una de esta se marca con una estaca. Se registran las lecturas de acuerdo a los ejes, si un accidente no coincide con uno de los vértices este se localiza. Posteriormente mediante un método de interpolación se dibuja las curvas de nivel requeridas.

Los levantamientos así realizados permiten trazar perfiles precisos con ayuda de los cuales es posible estudiar todos los proyectos.

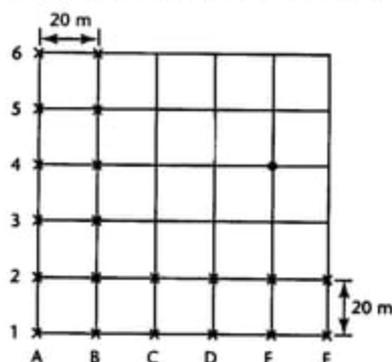


Fig. 128

Modelo de Cartera

Pto	V+	A.I.	V-	VI	Cota					
Bm1	1,761	201,761			200,000					Bloque Ing. U. Q.
A1				0,890	200,871					
A2				0,170	201,591					
A3				0,540	201,221					
B1				1,100	200,661					
B2				1,550	200,211					
B3				2,410	199,351					
C1				0,140	201,621					
C2				0,100	201,661					

8.2.2. Por distancias fijas lo largo de un eje

- ✧ Se determina la elevación de puntos a intervalos regulares, puede ser cada 5 o 10 m, a lo largo de un eje, luego en cada punto de los mencionados, se trazan perpendiculares al eje y se va determinando la elevación de puntos sucesivamente sobre esa normal (perpendicular al eje), a ambos lados, en sitios en donde su altura varié 50 cm. a 1m según la conformación del terreno y en la longitud requerida.
- ✧ Se determina la elevación de puntos según distancias verticales fijas (localización directa o cota redonda) se va localizando puntos de cota redonda a lo largo del eje, en cada puntos se trazan normales y se procede como se menciono anteriormente.

8.2.3. Cota redonda

El observado después de terminar su altura instrumental, se para en el punto de cota conocida del eje, y se calculada lo que debe llevar en la mira para que este quede colocado sobre el punto de cota cerrada (de acuerdo con el intervalo escogido). Entonces se ordena que se vaya alejando la mira según la dirección de la sección hasta que haga la lectura calculada; mide la distancia que se alejo de la mira, anota, y se traslada al lugar donde quedo la mira, de cota ya conocida, cerrada, y procede de igual forma a buscar el siguiente punto; pero de aquí en adelante ya serán sus lecturas constantes para

localizar las siguientes cotas cerradas. El procedimiento se sigue hasta llegar a la distancia que requiere cubrir a ambos lados del eje.

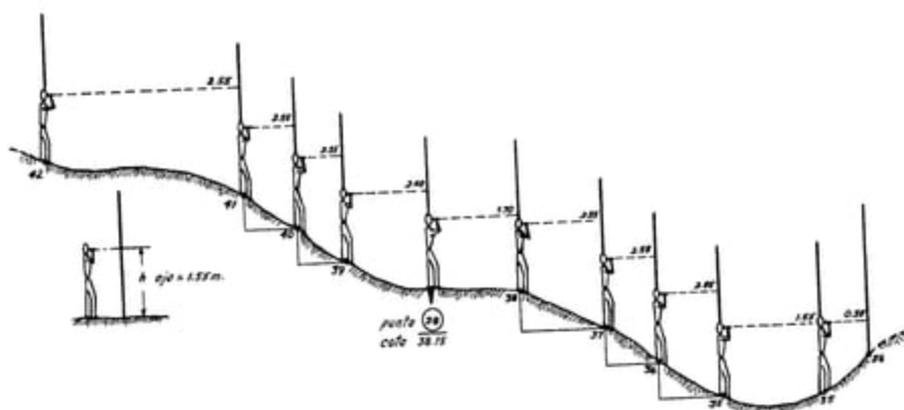


Fig. 129

Modelo de Cartera

23,45	17,10	14,80	10,45	5,15	K0+020	15,63	18,78	26,15			
89,75	99,00	99,25	99,50	99,75	99,90	100,00	99,75	99,50			
	13,90	13,75	11,20	8,40	K0+016,30	10,1	20,28	25,52	30,00	31,80	34,25
	98,75	99,00	99,25	99,50	99,75	100,00	99,75	99,50	99,25	99,00	98,75
			10,30	10,00	K0+010	10,00	32,10	42,10	40,50		
			99,25	99,50	99,57	99,75	100,00	99,75	99,50		
					K0+008.30						
					99,50						
	Talud	8,00	7,15	K0+000	15,40	23,80	30,00	46,70	49,80		
		99,00	99,25	99,44	99,50	99,75	100,00	99,75	99,50		

8.2.4. Cota por Cambios de pendiente

El observado después de terminar su altura instrumental, se para en el punto de cota conocida del eje, se proyecta esta altura y con el Abney se determina la pendiente, de acuerdo a la configuración del

terreno, se mide la distancia que se alejó de la mira, se anota, y se traslada al lugar donde quedó la mira, y se procede de igual forma a buscar el siguiente punto. El procedimiento se sigue hasta llegar a la distancia que requiere cubrir a ambos lados del eje.

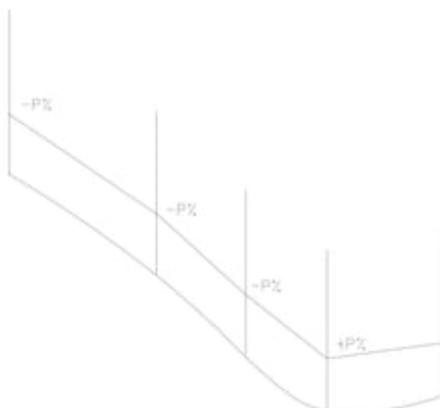


Fig. 130

Modelo de Cartera

	24,56	17,10	14,80	K0+030	5,15	2,30	15,36	8,25	15,23		
	+18%	+10%	+8%	503,24	-5%	-7%	-2%	0%	+2%		
	14,75	12,25	11,36	9,20	K0+020	10,1	20,14	22,30	18,23	16,35	19,35
	+22%	+17%	+10%	+13%	502,8	-6%	-8%	-3%	+1%	+4%	+12%
			10,85	10,25	K0+010	9,25	13,25	17,25	19,25		
			+20%	+15%	500,78	-7%	-8%	-1%	+2%		
			9,25	7,35	K0+000	14,25	15,23	17,00	15,23	19,25	
			+9%	+12%	500,25	-6%	-4%	-8%	-9%	-11%	

8.2.5. Nivelación por puntos de quiebre

Se realiza con un tránsito como la nivelación taquimétrica, o una estación, colocando la mira o el prisma en los puntos en donde cambia la pendiente, también se puede realizar con un nivel de

precisión (provisto de círculo horizontal) siguiendo el mismo criterio. Es muy importante que el topógrafo tenga nociones de geomorfología para la determinación de los puntos.

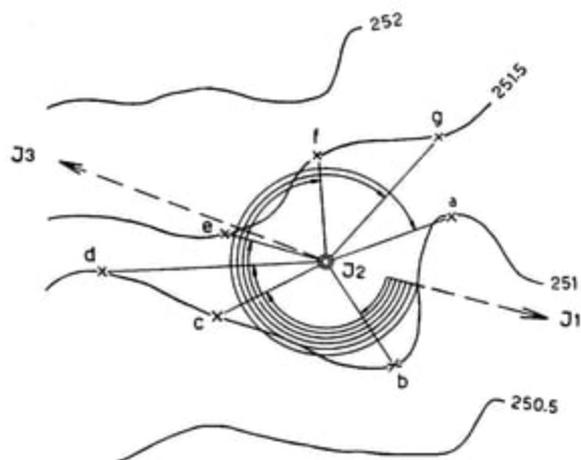


Fig. 131

Modelo de Cartera

Estacion	Pto visado	Azímuth	Hilos	LCV	DH	DE
1						
	1	142°58'20"	2,000 2,117 2,115	90°59'42"		
AI = 1,47	2	157°50'03"	2,000 2,119 2,278	91°02'40"		
	3	173°18'37"	1,700 1,819 1,978	90°43'55"		
	4	185°16'52"	2,000 2,093 2,190	91°36'25"		
	5	254°14'55"	2,000 2,061 2,125	88°12'38"		
	6	193°55'50"	2,000 2,187 2,295	91°31'56"		
	7	223°30'55"	2,000 2,176 2,352	92°14'30"		
	8	247°59'52"	2,000 2,114 2,228	91°24'35"		
	9	286°09'25"	1,700 1,781 1,785	91°16'40"		
	10	142°44'10"	2,100 2,478 2,548	91°27'09"		

8.3. Interpolación de Cotas

7.3.1. Interpolación

Es la estimación del valor de una variable en un punto a partir de otros datos próximos. Se entiende que el punto problema esta dentro del rango de variación de los datos disponibles; en caso contrario se habla de **extrapolación**. La interpolación puede hacerse en un espacio de 1, 2 o más dimensiones.

7.3.1.1. Interpolación Grafica

Estima

El topógrafo coloca las curvas de nivel en el intervalo de acuerdo a su criterio, generalmente apoyado en el conocimiento del terreno, este método es muy poco usado.

Proporciones

Midiendo a escala la distancia entre los puntos de elevación conocida, y localizando por proporción los puntos de las curvas de nivel intermedias.

7.3.1.2. Matemática

Es la más precisa aunque muy lenta, pues para cada punto se establecen proporciones entre la distancia y el desnivel como se ve a continuación

Se tiene dos puntos a y b a una distancia de 30 metros cuyas cotas son 104.25 y 106.39 respectivamente, se desea interpolar a una equidistancia de 1 metro, por consiguiente las cotas a encontrar serán 105 y 106.

Calculo 105

$$\Delta\text{Desnivel total} = 106.39 - 104.25 = 2.14$$

$$\Delta\text{Desnivel a 105} = 105.00 - 104.25 = 0.75$$

$$\frac{30}{2.14} = \frac{x}{0.75}; x = \frac{30 * 0.75}{2.14} = 10.51 \text{ m}$$

Calculo 106

$$\Delta\text{Desnivel total} = 106.39 - 104.25 = 2.14$$

$$\Delta\text{Desnivel a 106} = 106.00 - 104.25 = 1.75$$

$$\frac{30}{2.14} = \frac{x}{1.75}; x = \frac{30 * 1.75}{2.14} = 24.53 \text{ m}$$

7.3.1.3. TIN (Red de Triangulo Irregulares)

Este modelo se basa en la generación de una red formada por triángulos irregulares cuyos vértices son los puntos originales obtenidos para la definición del terreno.

Consiste en generar sobre un plano horizontal una malla de triángulos, la cual resulta de la conexión, por medio de segmentos de rectas, de las proyecciones de los puntos del modelo sobre el plano. La conformación de la red de triángulos, denominada triangulación, debe realizarse de tal manera que:

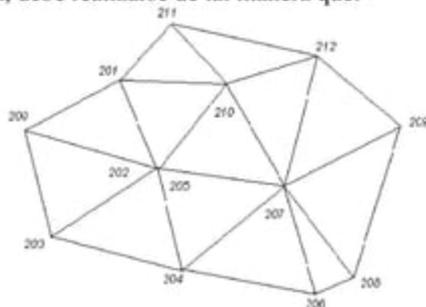


Fig. 132

- Los triángulos sean, en lo posible, equiláteros y pequeños,
- Se incluyan todos los puntos del modelo
- El resultado del proceso esté libre de ambigüedad (sea inequívoco)

Para lograr la automatización de este proceso se han diseñado algoritmos de triangulación. El más frecuentemente utilizado es el algoritmo de triangulación de Delaunay, en el cual se emplean polígonos de Thiessen (Gazdzicki, 1990).

1. Se forman triángulos lo más equiláteros posibles formando una red.
2. Con cada tres puntos definimos un plano: $Z = Ax + By + C$
3. Se soluciona un sistema de tres ecuaciones con tres incógnitas

A partir de estos algoritmos se puede llegar a diferentes representaciones como el plano de curvas de nivel llamado plano topográfico y modelos digitales de terreno.

8.4. Interpretación del relieve

Para poder saber interpretar un mapa topográfico, necesita conocer tres factores:

1. Escala, que puede ser numérica y/o gráfica. Permite usar una regla (o escala) para comprender las distancias reales en el terreno.
2. Dirección y grado de la inclinación, que son las consideraciones más importantes en una planificación de terreno y diseño debido a su efecto sobre la estabilidad de la inclinación y el drenaje del agua de la superficie (El método para calcular la inclinación se discute en la siguiente sección. Esencialmente, en un mapa topográfico la inclinación es la diferencia de elevación entre dos curvas de nivel dadas, expresadas en porcentaje o proporción.
3. El intervalo de contorno, es la diferencia en elevación entre curvas de nivel.

8.4.1. Perfiles longitudinales y transversales

Los perfiles longitudinales y transversales constituyen el punto de partida para la planeación detallada y el replanteo de vías de comunicación (Caminos), así como para el cálculo de rellenos y u trazo óptimo de las rutas con respecto a la topografía. Como primer paso, se replantea y marca el eje longitudinal (eje del camino); lo cual implica establecer y monumental los puntos a

intervalos regulares. De esta forma, se genera un perfil longitudinal a lo largo del eje del camino, determinando las alturas de los puntos de estación al nivelar dicha línea. Los perfiles longitudinales (en ángulo recto hacia el eje del camino) se miden en los puntos de estación y en las prominencias del terreno. Las alturas de los puntos que forman dicho perfil se determinan auxiliándose de la altura conocida del instrumento. Primero coloque la mira sobre un punto de estación conocido. La altura del instrumento se forma por la suma de la lectura de la mira y la altura del punto de estación conocido. Posteriormente, reste las lecturas de la mira (en los puntos del perfil transversal) de la altura del instrumento; con lo cual se obtiene las alturas de los puntos en cuestión. Las distancias del punto de estación hacia los diferentes puntos de los perfiles transversales se determinan ya sea mediante cinta o en forma óptica, empleando el nivel. Al representar gráficamente un perfil longitudinal, las alturas de los puntos de estación se muestran a una escala mucho mayor que aquella a la que se representa los puntos de dirección longitudinal, la cual esta relacionada a una altura de referencia en números enteros.

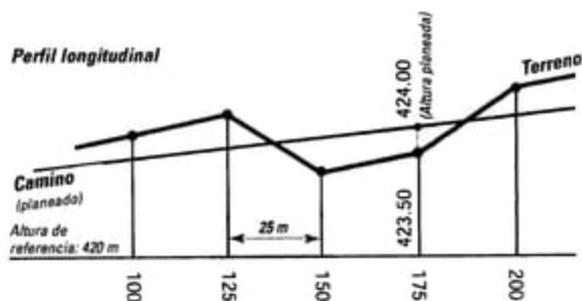


Fig. 133

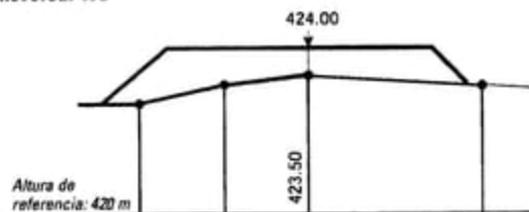
Perfil transversal 175

Fig. 134

8.4.2. Como elaborar un perfil

Es un dibujo producido de la intersección de un plano vertical corta la superficie de un terreno representado en plano topográfico (plano horizontal)

Para elaborar un perfil exacto, se coloca el borde recto de una hoja de papel a lo largo de la línea elegida sobre el plano topográfico, señalar la intersecciones de las curvas de nivel, teniendo en cuenta las cotas de ríos, picos, y demás puntos destacados. Posteriormente se traza una línea base del perfil en una hoja de papel y trasladándose luego cuidadosamente las señales anteriormente obtenidas sobre el. Se trazan líneas verticales y se marca la cota en una escala vertical, elegida con gran cuidado teniendo en cuenta la topografía o el uso futuro del perfil en muchos caso la relación de las dos escalas es de 10. Una vez marcados todos los puntos, se une con una línea suave, no por varias líneas rectas a lo menos que se trata un perfil de un objeto construido por el hombre.

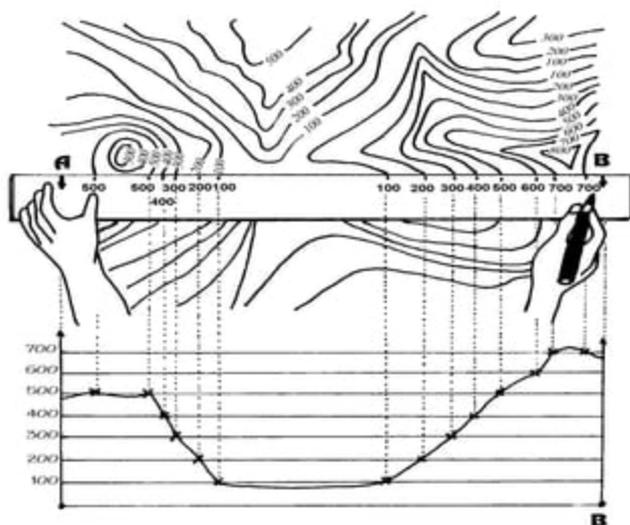


Fig. 135

8.4.3. Línea de pendiente¹

Dado un terreno, en un plano de curvas de nivel; el intervalo entre las curvas de nivel es de 5.00 m. Suponga que se nos pide determinar la línea de pendiente que conecta los puntos A y B, cuya pendiente máxima no debe exceder de 4%. Como el intervalo es de 5 m, la diferencia entre los niveles de las curvas es de 5m. Entonces $L = D / G$, o bien $L = 5.00 / 0.04 = 125.00$, es la longitud mínima de la línea entre dos curvas de nivel cualesquiera. Por tanto, como el Punto A de partida, se traza un arco con un radio de 125 m que interfecta a la curva de nivel 145; la intersección es el punto C. Del mismo modo, con el punto C como centro, se encuentra el punto D sobre la curva de nivel 150, y con D como centro se localiza el punto E sobre la curva de nivel 155. Se debe notar que si se traza una línea recta de 125 m de longitud entre los puntos E y G (sobre la curva de nivel 160), una parte de esta línea estaría casi a nivel y la parte restante tendría una pendiente mayor del máximo de 4%. Para esas condiciones se dibuja una curva a medio nivel (intervalo 2.5 m) entre la 155 y la 160 y se trazan los arcos EF y FG con radios de $125 / 2$ o bien 62.50 m.

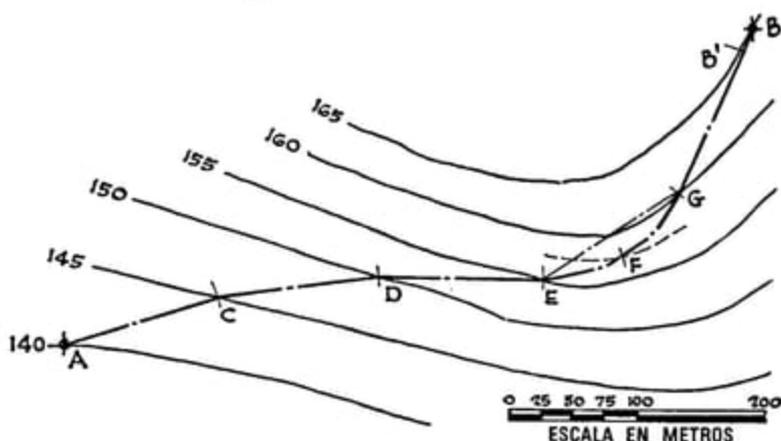


Fig.136

Se construye entonces una curva que conecta los puntos E, f y G. Como los arcos son mas largos que las líneas rectas entre los puntos

¹ Tomado y adaptado de Ingeniería de campo simplificada para arquitectos y constructores, Harry Parker y Jhon W. MacGuire.

E, F y G, las pendientes serán ligeramente menores que el máximo 4%. Un arco con un radio de 125 m de intersección a la curva 165 en el punto B'. Como la línea GB es ligeramente más larga que la GB', la pendiente de GB es ligeramente menor que el 4% y por tanto la línea que indica que la línea de pendiente cumple los requisitos.

8.4.4. Terraceo

El terreno se divide en una serie de franjas, de acuerdo con el contorno aproximado, de esta manera se forma una serie de escalones, en el sentido de la pendiente generalmente. Este método sirve para reducir la pendiente en lugares donde esta es excesiva.

La localización de las terrazas en contorno puede ser considerada como parte de la planeación básica, durante la cual se localizan los linderos del terreno.

Debido a que con demasiada frecuencia el movimiento de tierra involucrado es bastante grande, las terrazas se trazan de tal modo, que conservan, lo más posible, la topografía original, hasta donde se permita las labores urbanísticas. Para llevar a cabo dicho trazado, es esencial tener un plano topográfico exacto del área de influencia. Es necesario que este plano tenga puntos de referencia permanentes para su control horizontal y que se localicen en el terreno, ya que las terrazas tendrán que marcarse posteriormente, usando métodos planimétricos.

La necesidad de un plano topográfico es menor en terrenos planos, con pendientes suaves y, a veces la localización de las terrazas puede determinarse por inspección.

APLICACIONES EN CONSTRUCCION



9.1 Introducción

El replanteo en la topografía es una de las etapas más importantes en una obra civil; la realidad profesional ha enseñado que un replanteo mal aplicado y erróneo puede afectar tanto el costo económico como retrasar la ejecución y menguar la calidad final de la obra.

9.2 Localización

Determinado el proyecto por el arquitecto y el ingeniero civil se inicia la localización para su posterior construcción, a continuación se presentan algunos métodos para esta labor.

9.2.1. Método de triangulación

Este método, consiste en el trazado de ángulos partiendo de puntos conocidos (estos puntos deben poseer coordenadas X, Y, Z) permite situar o marcar puntos buscados sin tener que recurrir a las distancias que los separan. Este procedimiento empleado principalmente para grandes obras cuando es imposible medir distancias. El tránsito debe de ser al segundo o las distancias deben de ser muy cortas.

9.2.3 Método de las coordenadas rectangulares

Este método es sencillo y se realiza con los instrumentos menores como, jalones, cinta metálica, escuadras de prismas, plomada. Consiste en fijar los puntos por medio de dos valores: una distancia sobre el eje y una distancia perpendicular a dicho eje. Como se muestra en la figura.

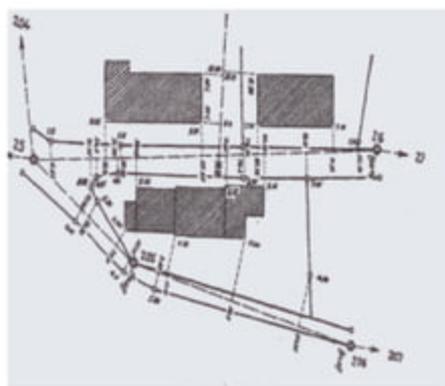


Fig. 139

9.2.4. Método Combinado de Coordenadas Rectangulares polares

Consiste en determinar las abscisa y la ordenadas como el método anterior pero además verificar angularmente con un tránsito la posición definitiva del punto.

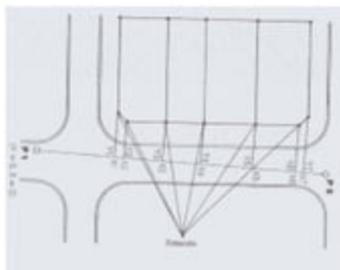


Fig. 140

Nota: A fin de obtener un grado de precisión suficiente, es importante comprobar el trazado reproducido sobre el suelo, por medio de la medición de las diagonales de este trazado.

Nota: La información de las coordenadas para la localización debe provenir de las memorias de cálculo no deben ser tomadas del plano, ya que este puede causar errores por apreciación de la escala o por cambios debidos a dilatación o contracción del papel o precisión del dibujo

9.3. Replanteo¹

Para alinear una construcción, resulta útil extrapolar los lados de la misma más allá de los límites de la excavación, a fin de determinar los perfiles de los límites sobre los cuales se colocan estacas. Durante el proceso de construcción, se pueden amarrar cuerdas o hilos a estas, a fin de indicar las posiciones que deberán tener las paredes.

En el siguiente ejemplo, los perfiles de los límites se levantaron en forma paralela a las paredes de un edificio a las distancias respectivas a y b de los límites

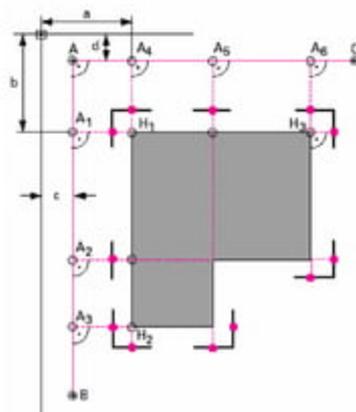


Fig. 141

¹ Kart Zeiske. Principios Básicos de Topografía

1. Establecer una línea base AB paralela al límite izquierdo, a una distancia cualquiera C.
2. Marque el punto A a una distancia D definida a partir del límite superior. Este será el primer punto donde se colocara la estación total o tránsito.
3. Empleando un bastón de aplomar, marque el punto B al final de la línea base.
4. Coloque la estación total o tránsito en el punto A, vise el punto B y mida los puntos A_1 , A_2 y A_3 sobre la línea, siguiendo la longitud planteada para el lado del edificio.
5. Visando el punto B, ponga el círculo horizontal en ceros, gire la estación 90° y trace la segunda línea AC con los puntos A_4 , A_5 y A_6 .
6. Los puntos de los perfiles de los límites se determinan en forma similar, comenzando a partir de los puntos A_1 al A_6 respectivamente.

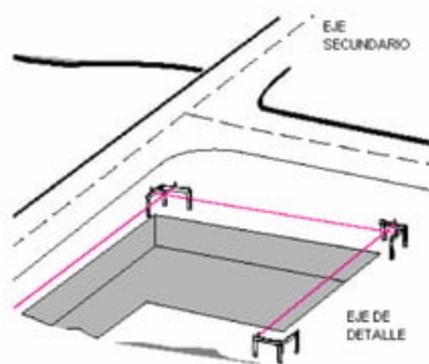


Fig. 142

Si aun no sea excavado los cimientos, puede determinar directamente los lados H1 H2 y H1 H3 del edificio para utilizarlo como la línea de inicio para marcar los puntos de los perfiles de los límites.

En edificios más pequeños resulta más sencillo determinar los perfiles de los límites empleando un prisma de ángulo recto y una cinta.

Muchas de las estaciones totales incluyen programas para alinear edificaciones, con el cual se pueden determinar directamente, comenzado en cualquier punto.

9.4. Levantamiento interior de una construcción

Para medir cantidad de obra construida en una casa o edificio, para una remodelación, etc, debemos conocer el procedimiento a seguir para realizar el levantamiento mencionado.

Se Debe medir:

- ∴ Dimensiones de columnas
- ∴ Dimensiones de Vigas
- ∴ Posición de puntos eléctricos e hidráulicos
- ∴ Dimensiones de puertas y ventanas
- ∴ Distancia entre cielo raso y piso
- ∴ Posición de implementos sanitarios
- ∴ Longitud y ángulos entre paredes
- ∴ Área de piso
- ∴ Área de paredes
- ∴ Ancho y longitud de una escalera (paso y contra huella)

Con respecto a la lista anterior, exceptuando lo relacionado con ángulo entre paredes, todo es conocido por lo tanto vamos a mencionar esto únicamente.

9.4.1. Ángulos entre Paredes

Se prolonga hacia fuera las tangentes a las paredes y como lo indica la figura, se mide $oa = ob = d$ y $ab = c$, por el método del seno se calcula el ángulo entre las paredes.



Fig. 143

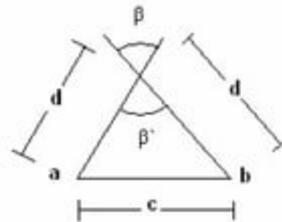


Fig. 144

$$\alpha = 2 \arcsen \frac{c/2}{d} \quad \text{y} \quad \alpha = 360^\circ - \beta \quad (1,2)$$

Si no es posible prolongar hacia fuera las tangentes a los muros o paredes, se trazan paralelas a estas mediante perpendiculares de igual longitud, se puede utilizar el mismo método del seno para calcular el ángulo β .

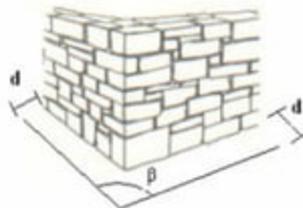


Fig. 145

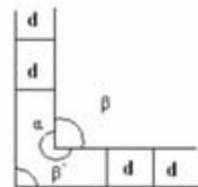


Fig. 146

$$\beta = \beta' \text{ son correspondientes y } \alpha = 360^\circ - \beta$$

9.4.2. Ángulos entre paredes (interior)

Para medir el ángulo interno que forma dos paredes, se utilizan el método del coseno.

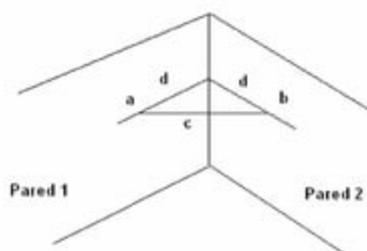


Fig. 147

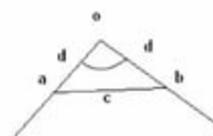


Fig. 148

Se miden los lados $oa = ob = d$ y la cuerda $ab = c$ aplicando una de las formulas conocidas, obtenemos el ángulo α .

9.5.3. Levantamientos para construcciones

Algunos trabajos que se hacen para construcción tales como:

- ∴ Estacar una zanja para su excavación

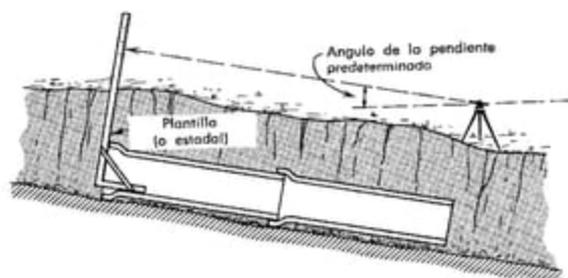


Fig. 149

∴ Controlar el tendido de una tubería

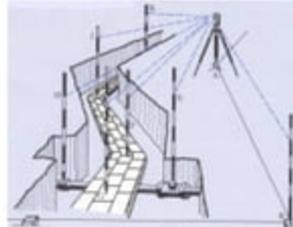


Fig. 150

∴ Ubicar la posición de una zapata y estacarla

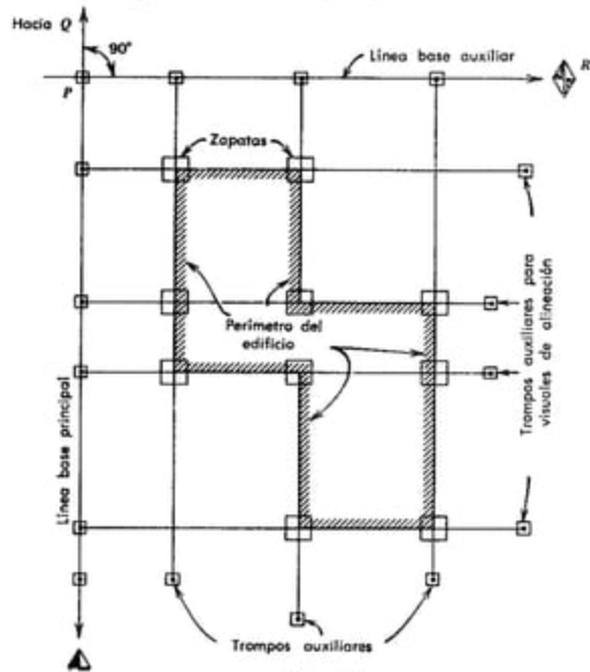


Fig. 151

- ∴ Controlar una excavación en tamaño y profundidad

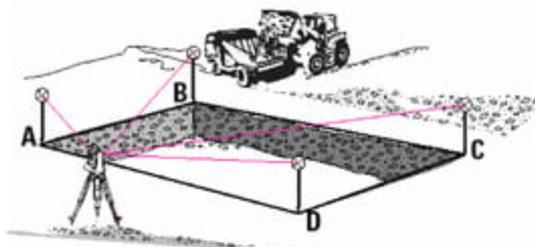


Fig. 152

- ∴ Colocar hilos en ejes de cimentación

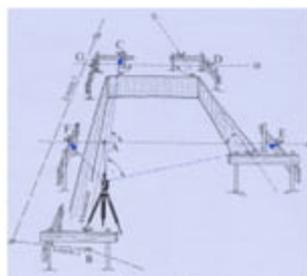


Fig. 153

- ∴ Controlar la verticalidad de columnas

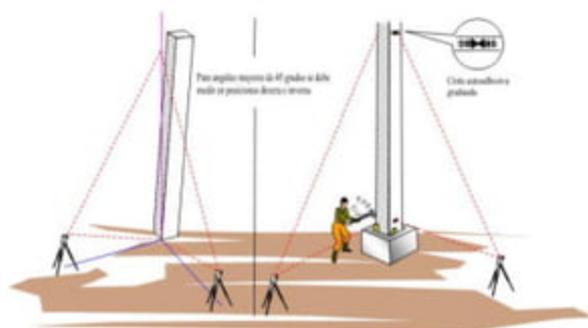


Fig. 154

∴ Control de Formaletas

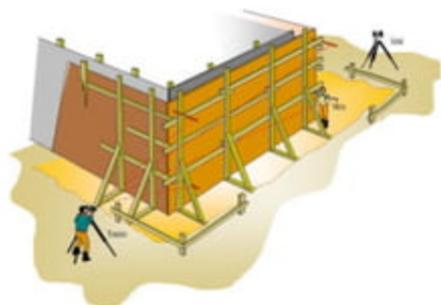


Fig. 155

SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO

10

10.1 Introducción

La topografía con los sistemas de posicionamiento puede ser sumamente productiva, pero también se conoce para causar ratos de depresión y desilusión. El objetivo de es texto es guiar a los estudiantes a ver los posibles problemas y proporcionar las pautas de cómo evitarlos.

10.2. Galileo

Galileo es una iniciativa Europea que implica el desarrollo, implementación y materialización de un sistema global y multimodal de navegación por satélite. Cuando sea operativo, Europa tendrá, a través de la puesta en órbita de satélites en el espacio, independencia en las aplicaciones que requieren de un sistema global de posicionamiento con satélites: cartografía, topografía, navegación y aplicaciones científicas que necesiten medidas de posicionamiento de rigurosa exactitud.

La configuración espacial de GALILEO consistirá en 30 satélites de órbita terrestre media (*Medium Earth Orbit*). El sistema proporcionará señales a los usuarios con grandes garantías de continuidad, fiabilidad y precisión, y donde el usuario final podrá elegir entre diversos servicios de diferente accesibilidad y de diferentes prestaciones en función de la exactitud final que se

requiera. GALILEO será compatible con otros sistemas de posicionamiento actuales, de manera que la transición entre unos y otros no se hará de manera drástica.

10.3. Glonass

Es un Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) desarrollado por Rusia

Consta de una constelación de 24 satélites (21 en activo y 3 satélites de repuesto) situados en tres planos orbitales con 8 satélites cada uno y siguiendo una órbita inclinada de $64,8^\circ$ con un radio de 25510 kilómetros. La constelación de GLONASS se mueve en órbita alrededor de la tierra con una altitud de 19.100 kilómetros (algo más bajo que el GPS) y tarda aproximadamente 11 horas y 15 minutos en completar una órbita.

Los satélites se han lanzado desde Tyuratam, Kazajstán. Los tres primeros fueron colocados en órbita en octubre de 1982. El sistema fue pensado para ser funcional en el año 1991, pero la constelación no fue terminada hasta diciembre de 1995 y comenzó a ser operativo el 18 de enero de 1996. La situación económica de Rusia en los años 90 supuso que en abril de 2002 solo 8 satélites estuvieran completamente operativos. En el 2004, 11 satélites se encuentran en pleno funcionamiento y tras un acuerdo con el gobierno indio se plantea tener de nuevo completamente operativo el sistema para el año 2007.

La aparición en el mercado de receptores que permiten recibir señales pertenecientes a los dos sistemas GLONASS y GPS (con sistemas de referencia diferentes) hace interesante las posibilidades de GLONASS en la medición como apoyo al GPS norteamericano.

El PZ 90, es el sistema de referencia que emplea este sistema, que es muy similar al GPS pero puesto en funcionamiento por la ex Unión Soviética y mantenido actualmente por Rusia.

10.4. GPS

Sistema de posicionamiento con satélites (*Global Positioning System*) que desde sus orígenes en 1973 ha supuesto una revolución frente a las técnicas utilizadas en geodesia clásica. La precisión métrica en un principio era la necesaria para la navegación en tiempo real, pero pronto se puso de manifiesto la posibilidad de sus aplicaciones en geodesia y topografía, al permitir conocer la posición del observador con precisiones similares a las de los métodos clásicos, mediante el postprocesado de datos, siendo en la actualidad un instrumento capaz de satisfacer demandas dentro de los campos de la Geodinámica y la Geofísica. La idea básica del sistema es la medida de distancias entre el aparato receptor y al menos cuatro satélites de la constelación NAVSTAR, de manera que la primera operación es conocer la posición del satélite en una época determinada por medio de los parámetros orbitales radiodifundidos en el mensaje de navegación.

De esta manera, y mediante el tratamiento de los observables GPS (medidas de fase, tiempo y pseudodistancias) se puede conocer la posición en postproceso de la antena del receptor, cuyas coordenadas vendrán dadas en el sistema de referencia WGS 84, por lo que habrá que realizar una transformación de este sistema al sistema de referencia local que se precise.

10.4.1. Los Elementos¹

La cadena que permite el funcionamiento de este sistema consta básicamente de tres partes:

- **Los satélites**, que generan la señal para el posicionamiento, estableciendo un sistema de referencia tipo "faros espaciales", que permiten calcular posiciones.

¹ Introducción al GPS. Camilo A. Rada. 2001

- **La señal**, que transporta la información desde los satélites hasta el receptor, es unidireccional para los usuarios, ya que el receptor de GPS no transmite ningún tipo de señal al satélite.
- **Los usuarios**, que son quienes poseen un receptor de la señal GPS, el que hace el cálculo efectivo de la posición y entrega además multitud de funciones que facilitan la navegación.



Fig. 156. Satélites

Un cuarto segmento a ser considerado, es el sector de control, que con estaciones a lo largo de todo el mundo monitorea y constantemente envía información a los satélites para que estos la transmitan a los usuarios, entregando datos precisos y actualizados.

El sistema de GPS, fue diseñado con el propósito de permitir a usuarios en tierra, conocer un único dato: la *posición*, y son los receptores los que calculan información derivada de ésta tal como la velocidad, errores, etc. Además existen hoy numerosos modelos de receptores que entregan valiosas herramientas para la navegación, tanto terrestre, como marítima y aérea.

10.4.2. Como funciona

Ya conociendo la estructura básica del sistema, el funcionamiento queda claramente explicado tras detallar el principio geométrico básico en que se basa el posicionamiento. Este es el de Triangulación. La idea es sencilla y podemos comenzar a entenderla con un modelo simple del proceso. Dado que esto es difícil de entender en tres dimensiones, lo haremos primero en un espacio plano. Imaginemos una hoja de papel con tres puntos llamados **a**, **b** y **c**.



Fig. 157.

Luego, supongamos que nosotros estamos parados en algún punto desconocido del papel. En principio no sabemos donde.

Luego, de algún modo nos enteramos que estamos a una distancia de 10 cm del punto **a**. Esto nos permite saber algo de nuestra posición pues ahora solo podemos estar en alguno de los puntos que están a 10 cm de **a**, esto es, los puntos que forman una circunferencia en torno a **a** con 10 cm de radio.

Luego, estando ya bastante menos perdidos sobre nuestra hoja de papel, hemos conseguido de algún modo conocer nuestra distancia a **b**, la que resulto ser de 15 cm.

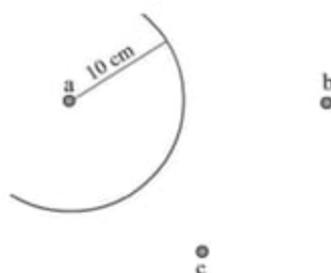


Fig. 158.

De todos los puntos en que podíamos estar, ¿cuáles están a 15 cm de **b**? Los puntos a 15 cm de **b**, forman otra circunferencia, ésta en torno a **b** y de radio 15 cm. Luego los puntos que están a 10 cm de **a** y a 15 de **b**, son aquellos en los que ambas circunferencias se interceptan.

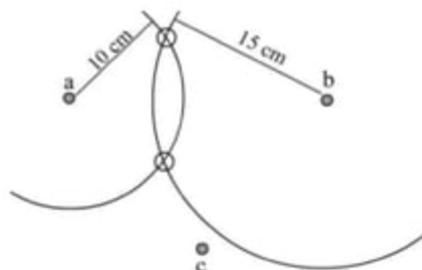


Fig. 159

Así, nuestra posición queda restringida sólo a 2 puntos, ¿En cual de estos estamos? Esta pregunta sólo la podremos resolver tomando una tercera referencia, que en nuestro caso será el punto **c**. Digamos que logramos medir también nuestra distancia respecto a este punto.

Resultado ser de 8 cm, así entonces, nuestra escena aparecería del siguiente modo.

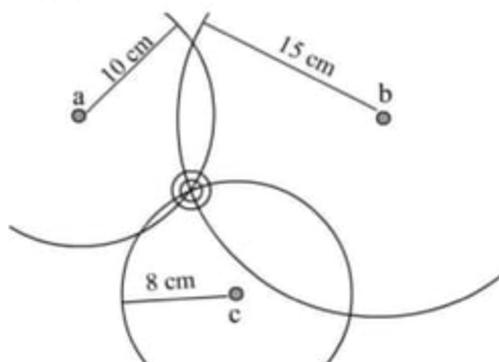


Fig. 160

Donde nuestra posición está ahora perfectamente determinada en el único punto donde se interceptan las tres circunferencias entorno a **a**, **b** y **c**, de radios 10, 15 y 8 cm respectivamente.

En tres dimensiones la situación es análoga, pues si conocemos la distancia a un punto, por ejemplo 10.000 Km, nuestra posición queda restringida a la superficie de una esfera centrada en el punto de referencia y de 10.000 Km de radio. Luego conociendo la distancia a un segundo punto sabremos que estamos en algún lugar de la circunferencia que resulta de interceptar dos esferas.

Podemos notar que con dos puntos a distancia conocida vamos un paso más atrás que en el caso bidimensional, pues aún tenemos una gran incerteza respecto a nuestra ubicación.

Prosigamos con el posicionamiento. Consigamos otro punto de referencia a distancia conocida, la esfera en torno a éste punto cortará nuestra circunferencia en dos únicas posiciones. Aquí solo un cuarto punto de referencia nos permitirá discernir cuál de esas posiciones corresponde a la verdadera.

Así podemos ver que para el caso tridimensional, son necesarios 4

puntos de referencia para determinar una posición, aunque en la realidad suposiciones de sentido común nos permitirán prescindir de una de dichas referencias.

Los puntos de referencia en el caso GPS son los satélites, así para que el sistema funcione como recién señalamos, es necesario conocer de algún modo la distancia a cada satélite, y su posición, lo que no es un tema menor, pues en el papel del primer ejemplo los puntos estaban fijos, pero en la realidad nuestros puntos de referencia se mueven a 15.000 Km/h, por lo que resultará imprescindible un mecanismo que nos permita conocer con extraordinaria precisión la posición en el espacio de cada satélite y en cada momento.

El segundo punto clave es el de conocer la distancia al satélite, para esto nos basamos en el hecho de que las señales del satélite, por ser de naturaleza electromagnética al igual que la luz, viajan a la misma velocidad que esta última, es decir a 300.000 kilómetros por segundo, o bien 1.080.000.000 Km/h, así el camino recorrido por la señal (distancia al satélite) será el tiempo que tarda la señal en dicho recorrido, multiplicado por la velocidad con que viajó. Una analogía sencilla:

La distancia recorrida por un auto que viaja a 60 Km/h en 3,4 horas es:

$$60 \text{ [Km/h]} \cdot 3,4 \text{ [h]} = 204 \text{ [Km]}$$

Más adelante estudiaremos como podemos nosotros saber el tiempo de viaje de la señal. Por ahora podemos entenderlo del siguiente modo: La señal trae consigo la siguiente información "fui emitida a las 15:45 h", entonces si yo la recibo a las 15:46 h significa que el tiempo de viaje fue de un minuto.

Esperando que hasta este punto las bases del posicionamiento queden claras, solo falta explicar por que en algunas oportunidades no es necesario un cuarto satélite para determinar una posición.

Sucede que al momento de conocer nuestra distancia a tres satélites, la posición, como vimos, queda restringida a dos únicos puntos, uno de los cuales suele estar a una altitud descabellada, por lo que

podemos descartarlo y suponer que estamos situados en el otro punto.

Sin embargo ya veremos como un cuarto satélite nos permitirá coordinar los relojes para obtener una extraordinaria precisión en los cálculos.

10.4.3. Los Satélites

Los satélites cumplen la fundamental labor de transmitir la señal para el posicionamiento a los usuarios en tierra. Como ya hemos visto son necesarios varios satélites para calcular una posición, además para lograr la cobertura deseada son necesarios aún más satélites.

Todo este conjunto de satélites trabajando de manera coordinada es conocido con el nombre de *constelación*. La más comúnmente utilizada por receptores civiles es la Norteamericana NAVSTAR, sin embargo también esta operativa GLONASS a cargo del gobierno Ruso, y la unión europea también esta en proceso de terminar su propia constelación: GALILEO. Actualmente existen receptores que trabajan de manera conjunta con NAVSTAR y GLONASS, logrando una mayor cobertura y precisión.

10.4.4. La Señal

La señal, es la encargada de llevar del satélite al receptor toda la información necesaria para el posicionamiento. Esto es aquella que nos permitirá conocer la distancia al satélite, y la que contiene los parámetros necesarios para calcular la posición del satélite en el espacio.

Para esto último existen dos conjuntos de datos independientes y complementarios. Éstos son

- El Almanaque
- Las Efemérides

El Almanaque es aquel que contiene la información orbital de todos los satélites operativos, con ésta el receptor puede calcular la posición de toda la constelación en un momento dado, pero sin la precisión necesaria para el posicionamiento, es decir permite conocer a *grosso modo* la configuración actual de la constelación.

Las Efemérides, son correcciones de enorme precisión al almanaque. Son específicas de cada satélite y permiten calcular su ubicación con la precisión necesaria para el posicionamiento.

Son calculadas en las estaciones de control y enviadas a cada satélite en particular. Es decir, se calculan las Efemérides del satélite 21, y se le envían para que el mismo satélite 21 se las transmita a todos sus usuarios.

Las Efemérides son constantemente actualizadas, la mayoría de los receptores buscan actualizaciones cada 30 minutos.

10.4.5. El Receptor

El Receptor, como su nombre lo dice, es el eslabón del sistema a cargo del usuario, y que tiene la labor de "escuchar" a los satélites, y sólo eso, pues no emite nada, de hecho los satélites no se dan cuenta de la existencia de los receptores, por lo tanto la Tierra podría estar "tapizada" de receptores, millones de ellos y este sistema jamás se recargaría, de echo funcionaría tan bien como si hubiera sólo un receptor en todo el mundo.

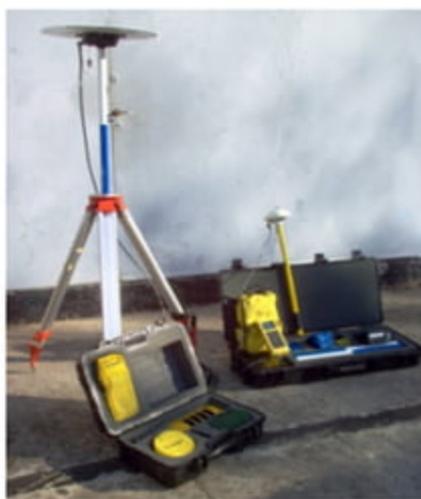


Fig. 161

La función base del receptor es la de calcular su posición, esto es, realizar todo el proceso de triangulación que hemos descrito además de las correcciones pertinentes. De este modo el receptor GPS, o simplemente GPS, más sencillo sólo calcularía su posición, pero los actuales GPS disponibles para el público en general entregan una enorme cantidad de funciones, tales como cálculos de velocidades, trayectorias, errores, etc...

Junto con todo esto se ha acuñado toda una terminología que facilita la comunicación entre los usuarios de GPS, además de generar estándares para el manejo y funcionamiento de los distintos receptores.

Así para facilitar el entendimiento del texto siguiente, esbozaremos aquí un pequeño glosario.

- **Waypoint**, o punto de ruta. Éste consiste en un set de coordenadas (latitud, longitud y a veces altitud) asociadas a un cierto nombre asignado por el usuario. Usualmente estos

nombres son cortos (6 a 8 caracteres), sin embargo muchos receptores permiten también asociar un breve comentario e incluso un icono.

- **Track, Tracklog**, Se refiere a la trayectoria registrada y almacenada por el GPS. Usualmente es de buena resolución, contando con varios cientos y hasta miles de puntos.
- **Ruta**, Es una secuencia ordenada de Waypoints, que describen a *grosso modo* una trayectoria dada, común-mente constan de varias decenas de Waypoints.
- **EPE**, Error estimado en la posición. El cálculo del error es algo bastante complejo y hasta algo "esotérico" para algunos. Pero la realidad es que prácticamente todos los receptores entregan un error asociado a la posición (dato que puede llegar a ser tan valioso como la posición misma), es comúnmente llamado EPE y se refiere a un valor estimado del error horizontal, se puede entender como que si el EPE es de 18 metros, las coordenadas que entrega el GPS, caen en realidad en un punto que muy probablemente esta dentro de un círculo de 18 metros de radio en torno a mí.
- **DOP**, Dilución de la precisión, este es un valor numérico asociado a la geometría de los satélites en el cielo, mientras más bajo sea su valor: mejor. Podemos de alguna forma relacionarlo con el concepto geométrico señalado por el volumen del sólido (imaginario) que tiene como vértices a los satélites (en uso para el posicionamiento) y al receptor. Así si los satélites están muy alineados, dicho volumen será bajo y el DOP alto, en cambio si los satélites están, muy separados el volumen será grande y el DOP bajo.



Fig. 162. Navegadores

10.4.6. GPS Estático

Este involucra a dos o más receptores que están colectando datos en diferentes puntos durante una cantidad suficiente de tiempo común para resolver el vector(s) entre ellos a nivel centímetro o milímetro.



Fig. 163. GPS pulso

10.4.7. GPS Dinámico

Las técnicas dinámicas requieren el uso de datos en movimiento. El termino cinemática se ha usado para describir la topografía de GPS dinámico tradicionalmente. Esta técnica permite observaciones muy cortas en los puntos de estudio, pero estos requieren alguna forma de inicialización para lograr la precisión al centímetro rápidamente. Una vez iniciado el proceso de medición se debe mantener el contacto con el número de satélites, para obtener la precisión requerida, si se pierde el contacto se deberá reiniciar el levantamiento.

10.4.8. Redes y ajustes por Mínimos Cuadrados

La Topografía con GPS nos proporcionan los vectores precisos, pero no los vectores perfectos. Podemos mejorar la exactitud y confianza en nuestras mediciones usando los procedimientos de ajustes.

El método de ajuste por mínimos cuadrados ajusta la posición de un punto para que las diferencias entre mediciones hechas a él sean tan pequeñas como sea posible. Si una medida en particular no encaja con las otras, su movimiento será mayor y su valor será más alto; indicando más error. Si este error es demasiado puede marcarse como un pico estadístico, y podremos decidir eliminar la medida de nuestro estudio.

De acuerdo al tipo de trabajo que se esta realizando se hace necesario ajustar los valores obtenidos.

10.4.9. Instrumentos integrados

Los nuevos desarrollos tecnológicos permiten integrar en un solo instrumentos la estación total y el GPS.



Fig. 164

SISTEMAS DE RASTREOS LASER



11.1 Introducción

Este sistema de medición en 3D, permite capturar la posición en forma muy precisa (apenas algunas micras) objetos que se encuentran en movimientos, operando con un único sensor. El sistema permite medir hasta 500 posiciones por segundo, se lo emplea para el control periódico de instalaciones y brazos robóticos, es muy cómodo su empleo pues no requiere de trípodes o piezas especiales, e incluso puede ser usado en recintos muy estrechos.

11.1.1. Escáner Láser CYRAX

Este es un nuevo y poderoso sistema de medición, que resuelve los problemas de ingeniería y topografía más complejos con una sensible reducción de costos y tiempos de construcción.

Una nube de puntos generada por miles de rayos láser provenientes de un escáner CYRAX 2500, permite visualizar una imagen tridimensional y a color, desde cualquier perspectiva del proyecto.

Cada punto de la nube tiene una posición precisa digitalizada en coordenadas 3D, que se puede utilizar directamente para visualizaciones en 3 dimensiones. O mediciones de punto a punto.

El programa de ajuste y proceso CYCLONE convierte la imagen de

la nube de puntos en modelos digitales 3D, dibujos 2D, superficies, volúmenes, perfiles, curvas de nivel, etc. y exporta a aplicaciones CAD o similares. Asimismo permite la revisión visual de interferencias en 3D.

Para escanear sitios o estructuras completas el equipo CYRAX se puede girar, inclinar y lo desplazar con gran facilidad.



Fig. 165

Características

Cientos de miles de puntos en 5-15 minutos, Escaneo rápido y con gran resolución de puntos 20,000m³/escaneo (precisión<6mm) 160,000m³/escaneo (a 100m)

Precisión de 6mm a 50m

Capacidad de resolución <1mm

Precisión de 2mm en superficies modeladas a 50m

Punto láser <6mm a 50m

11.1.2. Escáner Láser Leica HDS3000

Con el Leica HDS 3000, high-definition surveying nunca ha sido tan fácil y familiar para topógrafos y profesionales de la medida. Por ejemplo, utiliza un trípode estándar para su estacionamiento sobre un punto conocido o sobre cualquier otro punto. Los puntos capturados pueden ser alineados de manera precisa a nuestro sistema de coordenadas local para su completa compatibilidad con los diseños de proyecto existentes. La orientación del instrumento y

su completa selección del campo de visión, puede ser definida fácil y rápidamente pulsando el nuevo botón QuickScan. Su único diseño de doble ventana nos permite, para una utilización eficiente, la toma de su máximo campo de visión de $360^{\circ} \times 270^{\circ}$ sin la re-orientación del instrumento, incluyendo la captura de la cúpula completa de toda la escena. Con la tecnología SmartScan, pueden ser tomadas regiones adicionales con mayor detalle si es necesario. Estas características de HDS3000 no sólo hacen que el láser escáner sea más familiar para los topógrafos, sino también más productivo para todos los profesionales de la medida.



Fig. 166

Características

Máximo campo de visión $360^{\circ} \times 270^{\circ}$, único diseño de doble ventana

Totalmente seleccionable tanto campo de visión como de la densidad a escanear

Cámara digital integrada calibrada para la toma superpuesta de fotos

Tamaño de punto $<6\text{mm}$ a 50m

Precisión en la posición de $<6\text{mm}$ a 50m

Introducción de Altura de instrumento

Estacionamiento en punto conocido

Botón QuickScan-M para una fácil selección del campo de visión

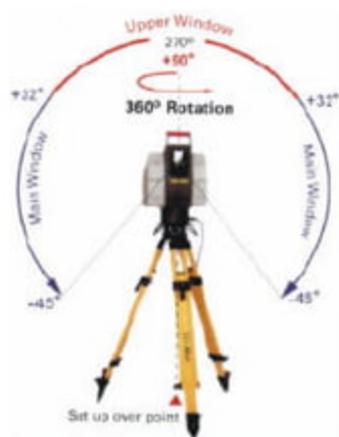


Fig. 167

11.1.3. Aplicaciones

- Inspección y control de estructuras: tanques, buques, destilerías, etc.
- Levantamientos e inspecciones en la construcción.
- Estudio de caminos, minería.
- Curvas de nivel, perfiles, superficies y volúmenes.
- Exportación a CAD de imágenes 3D
- Generación de planos dimensionales
- Comprobación visual de interferencias
- Herramientas de diseño conceptual
- Renderizado... y mucho más.



Fig. 168

12.1 Generalidades

Cuando se decide modificar la topografía de un terreno con el fin de adecuarlo para un propósito determinado, es por que se conoce en detalle la geometría de esa porción de superficie terrestre, las dos variables fundamentales de esta son el área y el volumen

Área: En topografía el área de un terreno se considera como la proyección ortogonal de la superficie sobre un plano horizontal. Para determinar áreas, se emplean diferentes métodos, entre estos el método de coordenadas.

Volumen: Magnitud física que expresa la extensión de un cuerpo en tres dimensiones: largo, ancho y alto.

La medición directa de volúmenes, por lo regular no se efectúa en topografía, ya que es difícil aplicar realmente una unidad de medida al material por cubicar. En su lugar se emplean mediciones indirectas determinando líneas y áreas que tengan relación con el volumen deseado.

12.2. Características generales de los movimientos de tierra

Se denomina movimientos de tierra a todos los trabajos en construcción relacionados con la elaboración de obras en tierra las cuales se dividen en permanentes y transitorias.

Algunos ejemplos de obras en tierra permanente son:

- ❖ Vías
- ❖ Canales
- ❖ Presas
- ❖ Adecuación de tierras para obras civiles y agricultura
- ❖ Adecuación de tierras para lago artificiales (reservorios)

Entre los movimientos de tierra transitorios:

- ❖ Excavaciones para diferentes tipos de obras por ejemplo; edificios, puentes, presas, torres de alta tensión.
- ❖ Zanjales para instalaciones de redes de alcantarillado, acueducto, gas y otros.

La tecnología para los movimientos de tierra consisten básicamente en la extracción del suelo por excavación, el transporte del material obteniendo al lugar de lleno y la configuración de os rellenos de acuerdo con su destino.

La elección de la tecnología adecuada para los trabajos de movimientos de tierra depende en gran medida de la propiedades y el tipo de suelo y de la magnitud prevista de los volúmenes de la obras.

Las propiedades de los suelos influyen en el balance de los volúmenes de corte y lleno, ya que no todos los suelos de una excavación sirven como material de lleno y parte de otros suelos debe ser trasladada al sitio de a obra.

Un proyecto de movimientos de tierra puede dividirse en tres partes principales:

- Calculo de volumen
- Replanteo o localización
- Costos

El cálculo de volúmenes se realiza varias veces en todas las fases del proyecto. En los estudios de localización de la obra proyectada la magnitud de los movimientos de tierra es tomada en cuenta como uno de los criterios para la elección del lugar.

12.3. Volúmenes por áreas en planta

12.3.1. TIN o método de Wilson

El diseño de Superficies esta determinado por los límites del terreno y su volumen, este espacio se subdivide en triángulos que a su vez forman prismas, el volumen de estos prismas es calculado con la siguiente formula:

$$Vol = \left(\frac{h_1 + h_2 + h_3}{3} \right) \times Area \quad (1)$$

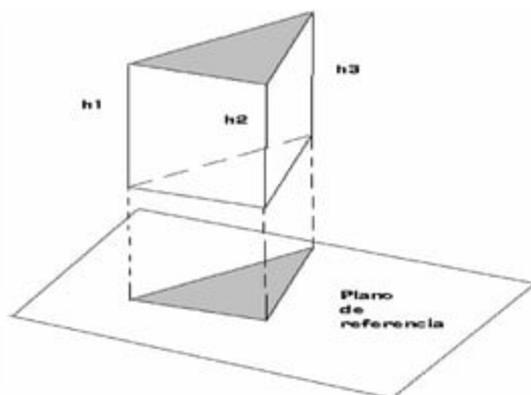


Figura 169. Volúmenes TIN

Donde h_1 , h_2 , h_3 representan la longitud desde la superficie real a la superficie a crear (plano de referencia), además del área (A) que es calculada con las coordenadas X , Y de cada triángulo (US Army of Engineers, 1994).

12.3.2. Método de la Cuadrícula

Una vez localizado los cuatro puntos y tomados los niveles en cada una de esas esquinas. La magnitud de los cuadrados dependerá de la naturaleza del terreno y las esquinas deben estar lo bastantes cercanas entre sí para que las superficies del terreno entre líneas se puedan considerar planas. Al restar de los niveles observados

(cotas negras), los correspondientes niveles del proyecto (cotas rojas) se obtiene una serie de alturas a partir de las que el volumen dentro de cada cuadrado puede considerarse como el área plana multiplicada por el promedio de la profundidad de excavación (lleno) en las cuatro esquinas.

La fórmula cuadrícula es:

$$V = \frac{A}{4}(h_1 + h_2 + h_3 + h_4) \quad (2)$$

12.4. Volúmenes por áreas extremas

Este procedimiento es conocido como promedio de áreas extremas, que consiste en determinar el área de dos secciones transversales paralelas sucesivas que puede ser horizontales y verticales (en el volumen de excavación para la construcción de un edificio las secciones son horizontales, para el volumen de tierra a mover en un tramo de vía las secciones son verticales), sumar y multiplicar por la Distancia. Es el volumen de un prisma recto.

$$\text{Volumen del prisma} = \frac{1}{2} [A(1) + A(2)] * d \quad (3)$$

A(1) y A(2) son las área de la secciones y d es la distancia que las separa.

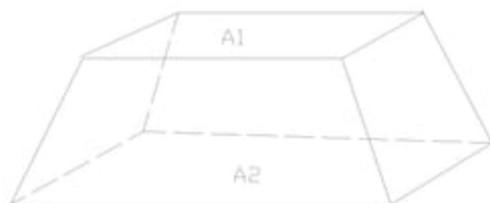


Fig. 170

Usualmente el área de las bases se calcula a partir de perfiles de las secciones transversales.

Una sección transversal es una sección vertical (corte vertical) tomado perpendicularmente a una línea de perfil.

En cada sección se debe mostrar la configuración del terreno y la posición con respecto a este del proyecto que se quiere representar.

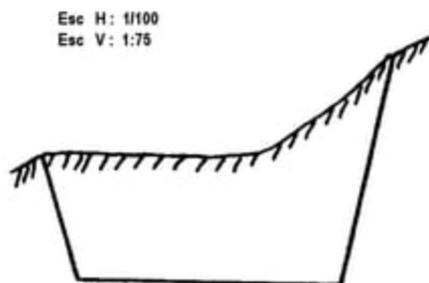


Fig. 171

Elaborar una sección es semejante a dibujar un perfil, también se hace a dos escalas.

El área se determina gráficamente por medio de planímetro (polar o de puntos) o analíticamente por coordenadas.

12.4. Exactitud del cálculo de Volúmenes

La exactitud de los volúmenes está determinada por las siguientes características:

1. la exactitud del mapa de curvas de nivel o plano topográfico
2. El intervalo de las curvas de nivel
3. La exactitud de medir el área de cada curva de nivel

Los volúmenes basados en modelos TIN tiende a ser más exactos que los basados en modelos de cuadrícula (Milne, 1988), debería realizarse estudios de este tipo para conformaciones topográficas propias del país.

12.5. Determinación Analítica de Punto de Ceros

Es el punto donde son iguales las cotas rojas y las cotas negras, la unión de estos puntos se llama línea de ceros.

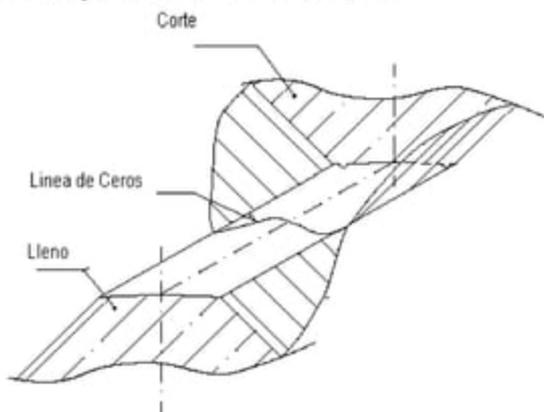


Fig. 172

$$\frac{Hc}{x} = \frac{Hl}{y} = \frac{Hc + Hl}{DH} \quad (4)$$

$$\frac{x}{Hc} = \frac{DH}{Hc + Hl} \Rightarrow x = \frac{Hc}{Hc + Hl} \cdot DH \quad (5)$$

$$y = \frac{Hl}{Hc + Hl} \cdot DH \quad (6)$$

HI: Altura de Lleno, Hc : Altura de Corte.

12.6. Informe del proyecto del movimiento de tierra

A continuación se presenta los términos de referencia para la elaboración de un informe topográfico de movimientos de tierra.

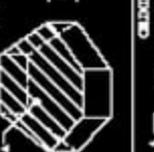
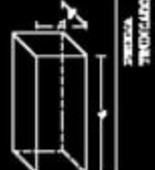
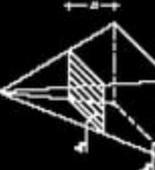
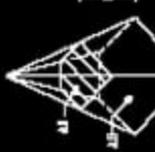
1. Presentación,
 - Quien contrato,
 - para que,
 - donde,
 - lineamientos,
 - quien lo hace (proponente)

2. Introducción,
 - Para que,
 - como y con que,
 - propuesta tradicional y de optimización.

3. Descripción del lugar o sitio,
 - Localización
 - Topografía cualitativa cuantitativa
 - Información Local general
 - Anexo Fotografías

4. Condiciones
 - Norma y especificaciones
5. Interpretación y análisis de la información topográfica
6. Interpretación y análisis del proyecto
7. Interpretación de información (Topográfica y del proyecto) y análisis del problema.
8. Lineamientos para el calculo
9. Memorias de Calculo
 - Restricciones
10. Análisis de resultados
11. Alternativas
12. Costo : global x alternativa

12.7 Formulas de Volúmenes

<p>BOXES</p> 	<p>VOLUMEN</p> $V = l \cdot w \cdot h$	<p>BOXES</p> 	<p>VOLUMEN</p> $V = l \cdot w \cdot h$ <p>h = altura de las bases paralelas</p>	<p>BOXES</p> 	<p>VOLUMEN</p> $V = \frac{h}{3} (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 \cdot A_2})$
<p>COMPLETOS</p> 	<p>VOLUMEN</p> $V = l \cdot w \cdot h$	<p>COMPLETOS</p> 	<p>VOLUMEN</p> $V = \frac{h}{3} (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 \cdot A_2})$ <p>h = altura de las bases paralelas</p>	<p>COMPLETOS</p> 	<p>VOLUMEN</p> $V = \frac{h}{3} (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 \cdot A_2})$ <p>h = altura de las bases paralelas A₁ = área de la base superior A₂ = área de la base inferior</p>
<p>TRONCOS</p> 	<p>VOLUMEN</p> $V = \frac{h}{3} (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 \cdot A_2})$	<p>TRONCOS</p> 	<p>VOLUMEN</p> $V = \frac{h}{3} (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 \cdot A_2})$	<p>TRONCOS</p> 	<p>VOLUMEN</p> $V = \frac{h}{3} (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 \cdot A_2})$ <p>h = altura de las bases paralelas A₁ = área de la base superior A₂ = área de la base inferior</p>

BIBLIOGRAFIA



Anderson James M., Mikhail Edward M., Introducción a la Topografía. McGraw Hill. México. 1988. 753 Págs.

Bannister, A. , Raymond. S. y Baker R. Técnicas Modernas en Topografía. 7a edición. Alfaomega , México 2002. 550 Págs.

Casanova Matera. Leonardo. Topografía Plana. ULA. Merida, 2002. 220 pags.

Chueca Pazos., Manuel. Herráez Boquera., José. Berné Valero., José Luis. Tratado de topografía 1, Teoría de errores e Instrumentación. Paraninfo. Madrid. 1996. 522 pags.

Chueca Pazos., Manuel. Herráez Boquera., José. Berné Valero., José Luis. Tratado de topografía 2, Métodos topográficos. Paraninfo. Madrid. 1996. 744 Págs.

Davis, Raymond E., Foote, Francis S. and Kelly Joe W.. Surveying: Theory and Practice. 5th. Ed.. McGraw-Hill Co.. New York 1966. 1096 págs.

Davis, Raymond E., Foote, Francis s., Anderson, James M. and Mikhail, Edward M.. Surveying Theory and Practice. 6th, Ed..McGraw-Hill Book Co.. New York. 1981. 992 Págs.

Dowdeit Gerd R. Measuring Systems IE. The University of Queensland. 1997. Australia.

Durbec Gérard., Cours de topogramétrie générale. Tome I, II. Quatrieme edition. editions Eyrolles. Paris. 1981. 298, 278 Págs.

El-Sheimy Nasser. Digital Terrain Modelling. Engo 573. Department of Geomatics Engineering. University of Calgary. 1999

Gómez G., Gilberto. Jhon Jairo Sanchez C. Anna Maria Espinel G. . Topografía Tecnología en Obras Civiles. Universidad del Quindío. Armenia. 1991. 182 Págs.

Gómez G., Gilberto. Jiménez C. Gonzalo. Topografía Analítica. Universidad del Quindío. Armenia. 2005. 289 Págs.

Jiménez Cleves., Gonzalo. Vila Ortega, José Joaquín. Hurtado Bedoya, Carlos Alberto. Introducción al diseño de especificaciones en Topografía. Universidad del Quindío. Armenia 1995. 116 Págs.

Jiménez C. Gonzalo. Galindo Escarria Iván Rene. Altimetría Universidad del Quindío. Armenia. 2005. 98 Págs.

Jiménez C. Gonzalo. Modelos Digitales. Universidad del Quindío Armenia. 2004. 48 Págs.

Jiménez C. Gonzalo. Francisco Hernández T. Teoría y Métodos Topográficos. Universidad del Valle. Cali. 1999. 118 Págs.

Kissam Philip. Surveying Practice. 2nd Ed.. McGraw-Hill Book Co.. New York. 1971. 482 Págs.

Kennie T. J. M. and Petrie G. Engineering Surveying Technology. John Wiley & Sons. Inc. Great Britain. 1990. 485 Págs.

Kennie T. J. M. and Petrie G. Engineering Terrain Modelling in Surveying and Civil engineering. Glasgow. 1991. 351 Págs.

Rayner, Willian H., Schmidt, Milton O.. Fundamentos de Topografía. Ccesa. México. 1983. 447 Págs.

Shepherd, F. A.. Surveying Problems and Solutions. Edward Arnold Ltd.. London 1968. 654 Págs.

Sickle, Jan Van. Surveying Fundamentals Problems. Second Edition, Professional Publications , Belmont California. 1997.596 Págs.

Solenthaler H. Introducción a al Nivelación. Wild Heerbrugg. Switzerland. 15 Págs.

Wolf, Paul R. y Brinker ,Russell C. Topografía. 9a. Ed.. Alafomega México. 1997. 834 Págs.

Zieske Karl. Principios Básicos de Topografía. Leyca Geosystems. Switzerland. 2000. 35 Págs.

www.leica.com

www.topcon.com

www.sokkia.com

www.profsurv.com

www.elagrimensor.com.ar

