



**ASISTENTE DE TOPOGRAFÍA  
Y GEOLOGÍA CON  
ORIENTACION AL  
PETRÓLEO**

CREACIÓN Y REALIZACIÓN:  
IFAD PLATAFORMA VIRTUAL

DIRECCIÓN EDITORIAL:  
GUSTAVO ALFREDO ZINGONI

AUTOR:  
EQUIPO DE REDACCIÓN DEL IFaD

CORRECCIÓN:  
DEPARTAMENTO EDITORIAL

DIRECCIÓN ARTÍSTICA:  
MAURO LOPEZ SCHELL  
JUAN PEDRO ZINGONI

EDICIÓN:  
EDITORIAL NAHUEL, PATRICIOS 135, (8000), BAHÍA BLANCA, BS. AS. AÑO 2018

[www.capacitacionifad.com](http://www.capacitacionifad.com)  
[administración@capacitacionifad.com](mailto:administración@capacitacionifad.com)  
[www.facebook.com/ifadcasacentral](http://www.facebook.com/ifadcasacentral)



## **FUNDAMENTACIÓN**

La geología y topografía en el área petrolera son áreas que en su ejecución van de la mano, están encargadas de estudiar todos los aspectos relacionados con la formación de yacimientos petrolíferos y su prospección; además de su ubicación y georeferenciación. Se combinan diversos métodos de exploración para seleccionar la mejor oportunidad de encontrar Hidrocarburos estudiando la información disponible del área.

La topografía es una técnica que consiste en describir y representar en un plano la superficie o el relieve de un terreno. Los orígenes de la topografía empiezan desde los tiempos de Tales de Mileto y Anaximandro, de quienes se conocen las primeras cartas geográficas y las observaciones astronómicas que añadió Erastógenes. Acto seguido, guardando la proporción del tiempo Hiparco crea la teoría de los meridianos convergentes, y así como estos pioneros, recordamos entre otros a Estrabon y Plinio.

## **OBJETIVOS**

- Conocer los conceptos básicos de la topografía de obra y aprendizaje en el manejo de los instrumentos topográficos.
- Aprender los tipos de levantamiento.
- Aprender la terminología y aplicación práctica básica del dibujo topográfico en Civil 3D.
- Conocer los fundamentos de la geología aplicados al trabajo en las áreas petroleras.

## **DESTINATARIOS Y REQUISITOS**

Esta capacitación está dirigida a profesionales que desarrollan sus actividades en las áreas de yacimientos petrolíferos y de la construcción en el área petrolera.

El participante debe poseer conocimientos básicos de las instalaciones petroleras y del dibujo en AutoCAD.

# CONTENIDO

## **UNIDAD 1.- TOPOGRAFIA**

- Conceptos básicos
- Distancia geométrica y reducida
- Desniveles y pendientes
- Ángulos horizontales y verticales
- Planimetría y altimetría
- Interpolación de curvas de nivel
- Poligonales
- Métodos de poligonación
- Cálculo y compensación
- Tolerancias y errores de cierre
- Instrumentos topográficos.

## **UNIDAD 2.- LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO**

- Conceptos básicos
- Métodos
- Fases de un levantamiento topográfico
- Elección de métodos e instrumentos según la extensión y la escala
- Zonas urbanas y rústicas

## **UNIDAD 3.- PERFILES TOPOGRAFICO Y NIVELACION**

- Conceptos básicos
- Tipos y aplicaciones de perfiles
- Tipos de nivelación
- Errores
- Señalización
- Redes de nivelación

#### **UNIDAD 4.- POLIGONALES**

- Métodos de poligonación
- Cálculo y compensación
- Tolerancias y errores de cierre

#### **UNIDAD 5.- DIBUJO EN CIVIL 3D E INTERPRETACION DE PLANOS**

- Sistemas de coordenadas
- Introducción de datos
- Capas, tipos de líneas y sombreados
- Herramientas de dibujo
- Bloques y atributos en CIVIL 3D
- Acotación en dibujo CIVIL 3D
- Herramientas de formato
- Trabajo con referencias externas
- Enlazado y tratamiento de imágenes
- Imágenes de trama
- Cartas, planos y mapas
- Escalas gráficas y numéricas
- Representación e interpretación del relieve

#### **UNIDAD 6.- GEOLOGIA**

- Conceptos básicos
- Ramas

## **UNIDAD 7.- PRINCIPIOS Y TIEMPOS GEOLOGICOS**

- Conceptos básicos
- Uniformismo
- Horizontalidad original
- Principio de superposición
- Principio de intersección
- Discordancias
- Fallas y tipos

## **UNIDAD 8.- ROCAS E HIDROCARBUROS**

- Conceptos básicos
- Clasificación de las rocas
- Ciclos de las rocas
- Propiedades de las rocas de yacimientos
- Migración y entrapamiento en los hidrocarburos
- Materia orgánica en roca sedimentarias
- Ambientes sedimentarios
- Clasificación de los hidrocarburos
- Trampas de hidrocarburos



# Unidad 1

TOPOGRAFÍA  
CONCEPTOS BÁSICOS

## Contenido

Introducción .....	2
Conceptos Básicos.....	3
Historia de la topografía: .....	4
Mediciones: .....	4
Distinguimos dos tipos de medición:.....	5
Toma de datos: .....	5
Replanteo:.....	6
Ejes del replanteo .....	6
Distancias en topografía .....	6
Nivelación .....	8
Tipos de nivelación .....	8
Ángulos Horizontales y verticales.....	13
Planimetría y altimetría .....	21
Curvas de Nivel.....	21
Interpolación de curvas de nivel.....	28
Poligonales .....	29
Métodos de Poligonación .....	31
Cálculo y Compensación de Poligonales.....	32
Instrumentos topográficos .....	39

## Introducción

La geología y topografía en el área petrolera son áreas que en su ejecución van de la mano, están encargadas de estudiar todos los aspectos relacionados con la formación de yacimientos petrolíferos y su prospección; además de su ubicación y georeferenciación. Se combinan diversos métodos de exploración para seleccionar la mejor oportunidad de encontrar Hidrocarburos estudiando la información disponible del área.

La topografía es una técnica que consiste en describir y representar en un plano la superficie o el relieve de un terreno. Los orígenes de la topografía empiezan desde los tiempos de Tales de Mileto y Anaximandro, de quienes se conocen las primeras cartas geográficas y las observaciones astronómicas que añadió Eratógenes. Acto seguido, guardando la proporción del tiempo Hiparco crea la teoría de los meridianos convergentes, y así como estos pioneros, recordamos entre otros a Estrabon y Plinio.

## Conceptos Básicos

La topografía es la ciencia que estudia el conjunto de principios y procedimientos que tienen por objeto la representación gráfica de la superficie terrestre, con sus formas y detalles; tanto naturales como artificiales. Esta representación tiene lugar sobre superficies planas, limitándose a pequeñas extensiones de terreno, utilizando la denominación de geodesia para áreas mayores. De manera muy simple, puede decirse que para un topógrafo la Tierra es plana (geoméricamente), mientras que para la geodesia no lo es.

Para eso se utiliza un sistema de coordenadas tridimensional, siendo la x y la y competencia de la planimetría, y la z de la altimetría.

La topografía es una ciencia geométrica aplicada a la descripción de la realidad física inmóvil circundante. Es plasmar en un plano topográfico la realidad vista en campo, en el ámbito rural o natural, de la superficie terrestre; en el ámbito urbano, es la descripción de los hechos existentes en un lugar determinado: muros, edificios, calles, entre otros.

Se puede dividir el trabajo topográfico como dos actividades congruentes: llevar "el terreno al gabinete" (mediante la medición de puntos o revelamiento, su archivo en el instrumental electrónico y luego su edición en la computadora) y llevar "el gabinete al terreno" (mediante el replanteo por el camino inverso, desde un proyecto en la computadora a la ubicación del mismo mediante puntos sobre el terreno). Los puntos relevados o replanteados tienen un valor tridimensional; es decir, se determina la ubicación de cada punto en el plano horizontal (de dos dimensiones, norte y este) y en altura (tercera dimensión).

La topografía no sólo se limita a realizar los levantamientos de campo en terreno sino que posee componentes de edición y redacción cartográfica, para que al confeccionar un plano se pueda entender el fonema representado a través del empleo de símbolos convencionales y estándares, previamente normados para la representación de los objetos naturales y antrópicos en los mapas o cartas topográficas. También se emplea en la ingeniería minera.

## Historia de la topografía:

Actualmente se desconoce el origen exacto de la topografía. Se cree que los primeros trabajos topográficos se hicieron en Egipto, ya que existen representaciones en muros y tablillas. En 1400 a.C. Herodoto dice a Seostris, que divida las tierras de Egipto en predios para cobrar impuestos, creando puestos de funcionariado llamado “tendedores de cuerda” que se dedican a medir.

En Egipto, en cada tierra de labor, se destinaba una parte al Faraón que se marcaba mediante una linde. Con las crecidas del Rio Nilo estas lindes se borraban, por lo que cada año se volvían a marcar la cantidad exacta que le correspondía al Faraón. De esta tarea se encargaban los agrimensores del Faraón. Las instrucciones de Amenempe, a finales de la dinastía XIX (Siglo XII a.C) según transcribe el escriba, enumera los acometidos del agrimensor jefe «el supervisor de los granos que controla la medida, quien fija las cuotas de la cosecha para su señor, quien registra las islas de tierra nueva, en el gran nombre de Su Majestad, quien registra las marcas en los límites de los campos, quien actúa para el rey en su enumeración de los impuestos, quien hace el registro de tierra de Egipto».

Otros autores marcan como el principio de la topografía a Tales de Mileto y Aniximandro<sup>2</sup>, que son los que realizan las primeras cartas geográficas.

Como señala el ingeniero geógrafo francés P.Merlin “la topografía nace al mismo tiempo que la propiedad privada”

La topografía, como ciencia, ha ido mejorando en función de la evolución tecnológica de cada época.

## Mediciones:

En agrimensura se utilizan elementos como la cinta de medir, podómetro, escuadra de agrimensor, o incluso el número de pasos de un punto a otro.

En topografía clásica, para dar coordenadas de un punto, no se utiliza directamente un sistema cartesiano tridimensional, sino que se utiliza un sistema de coordenadas esféricas o polares que posteriormente nos permite obtener coordenadas cartesianas. Para ello necesitamos conocer dos ángulos y una distancia.

### Distinguimos dos tipos de medición:

La directa: que basta con comparar la distancia a medir con la unidad de medida, (una cinta métrica encima de una mesa, por ejemplo)

La indirecta: en la que necesitaremos una fórmula para obtener la medición.

Existen diversos instrumentos que pueden medir ángulos, como la estación total. Para la medida de distancias tenemos dos métodos: distancias estadimétricas o distanciometría electrónica, siendo más precisa la segunda. Para el primer caso utilizaremos un taquímetro y para el segundo la estación total. Normalmente se combina el uso de GPS con la estación total.

Es obligatorio trabajar en el Sistema Geodésico de Referencia adecuado, actualmente el ETRS89 en la Península y Baleares y REGCAN95 en las Islas Canarias. El Elipsoide referente será el GRS80 y la Proyección Cartográfica correspondiente es la UTM.

### Toma de datos:

Actualmente el método más utilizado para la toma de datos se basa en el empleo de una estación total, con la cual se pueden medir ángulos horizontales, ángulos verticales y distancias. Conociendo las coordenadas del lugar donde se ha colocado la Estación es posible determinar las coordenadas tridimensionales de todos los puntos que se midan.

Procesando posteriormente las coordenadas de los datos tomados es posible dibujar y representar gráficamente los detalles del terreno considerados. Con las coordenadas de dos puntos se hace posible además calcular las distancias o el desnivel entre los mismos puntos aunque no se hubiese estacionado en ninguno.

Se considera en topografía como el proceso inverso al replanteo, pues mediante la toma de datos se dibuja en planos los detalles del terreno actual. Este método está siendo sustituido por el uso de GPS, aunque siempre estará presente pues no siempre se tiene cobertura en el receptor GPS por diversos factores (ejemplo: dentro de un túnel). El uso del GPS reduce considerablemente el trabajo, pudiéndose conseguir precisiones buenas de 2 a 3 cm si se trabaja de forma cinemática y de incluso 2 mm de forma estática. Los datos de altimetría o z levantados por la estación no son ni deben tomarse como definitivos hasta comprobarlos por una nivelación diferencial.

## Replanteo:

El replanteo es el proceso inverso a la toma de datos, y consiste en plasmar en el terreno detalles representados en planos, como por ejemplo el lugar donde colocar ejes de cimentaciones, anteriormente dibujados en planos. El replanteo, al igual que la alineación, es parte importante en la topografía. Ambos son un paso previo fundamental para poder proceder a la realización de la obra.

## Ejes del replanteo

Los ejes que se necesitan para realizar el replanteo son:

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

## Distancias en topografía

En Topografía, uno de los conceptos primeros que aprendemos, es los diversos tipos de distancias que podemos encontrar y que debemos hallar para cada situación requerida. Se diferencian principalmente 3 tipos de distancias, entre las cuales nos moveremos mediante fórmulas matemáticas y reducciones oportunas.

**DISTANCIA TOPOGRÁFICA O REAL:** es la distancia verdadera del terreno que separa dos puntos.

**DISTANCIA GEOMÉTRICA O NATURAL:** es la distancia en línea recta que separa dos puntos del terreno.

**DISTANCIA HORIZONTAL O REDUCIDA:** se llama de estas tres formas a la longitud de la recta perpendicular, a las verticales que pasan por los extremos de la distancia.

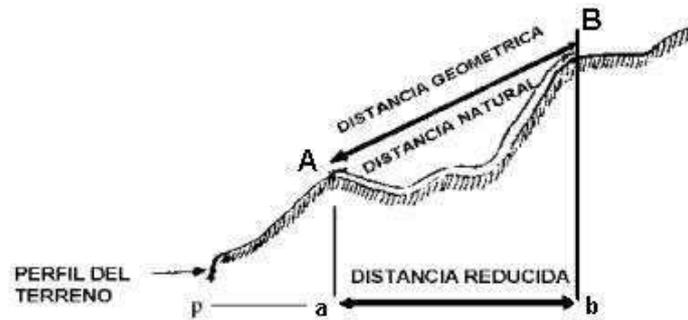


Figura 1. Tipos de Distancias

Parece obvio, que la distancia topográfica, no será hallada por nosotros nunca, pues requiere de un trabajo normalmente en vano. Por ello, nosotros hallaremos la distancia geométrica, aquella que va desde un punto hasta el otro recorriendo la menor distancia posible.

Actualmente, la medida geométrica es hallada a partir de distanciómetros electrónicos, instalados en nuestra estación total. El paso de Distancia geométrica a distancia reducida, se produce a partir de reducciones y correcciones a la primera.

Si nos encontramos en el ámbito de la Topografía, la reducción se ciñe al horizonte de uno de los extremos de la base, de manera que:

$$D_h = D_g \cdot \cos(90 - V)$$

Si hablamos de Geodesia, donde la distancia será considerablemente mayores, debemos tener en cuenta otras reducciones, de manera que llegemos a una reducción al arco del elipsoide

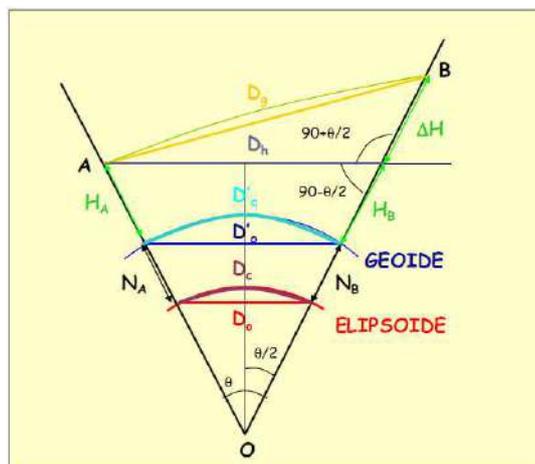


Figura 2. Esquematización del Modelo Geoidal

## Nivelación

La nivelación es el procedimiento mediante el cual se determina: el desnivel entre dos (o más), hechos físicos existentes entre sí y la relación entre uno (o más), hechos físicos y un plano de referencia. El primer caso constituye la forma más común de nivelación, se comparan varios puntos o planos entre sí y se determina su desnivel en metros o centímetros. En el segundo caso se establece un nuevo "valor" llamado cota, que relaciona individualmente a cada uno de los hechos físicos que forman parte de la nivelación, con otro que se toma como referencia, por ejemplo, el nivel del mar.

## Tipos de nivelación

Existen tres métodos de nivelación utilizados en los trabajos topográficos: nivelación geométrica, nivelación trigonométrica y nivelación satelital; este último utiliza el sistema de posicionamiento global y realiza una variante de la nivelación trigonométrica.

La geodesia utiliza estos tres métodos, y agrega dos métodos más: el método gravimétrico y el barométrico. La cartografía utiliza también la restitución fotogramétrica.

## Nivelación geométrica

Es el más preciso y utilizado de todos, se lleva a cabo mediante la utilización de un nivel óptico o electrónico, existen cuatro tipos de nivelación geométrica definidos según su precisión: 1° y 2° orden (utilizados en geodesia), 3° y 4° orden (utilizados en topografía), el procedimiento es igual en todos ellos, solo cambian los elementos utilizados para medir; y también podríamos diferenciar dos tipos más según el trabajo a realizar: nivelación geométrica lineal (si se nivela desde un punto hasta otro siguiendo una trayectoria que una ambos) o nivelación geométrica de superficie (cuando nivelamos un sector o una línea desde una misma estación referida a un mismo plano de referencia).

El procedimiento para nivelaciones lineales, sean estas topográficas o geodésicas, es igual, solo cambia la precisión a alcanzar y los instrumentos a utilizar. Se realiza mediante lecturas efectuadas con el Hilo Medio del retículo del nivel, sobre una mira

graduada que se coloca a una distancia no mayor de 60 o 70 m, estas lecturas se restan convenientemente entre sí obteniéndose de esta manera el desnivel existente entre los dos puntos donde estuvo apoyada la mira.

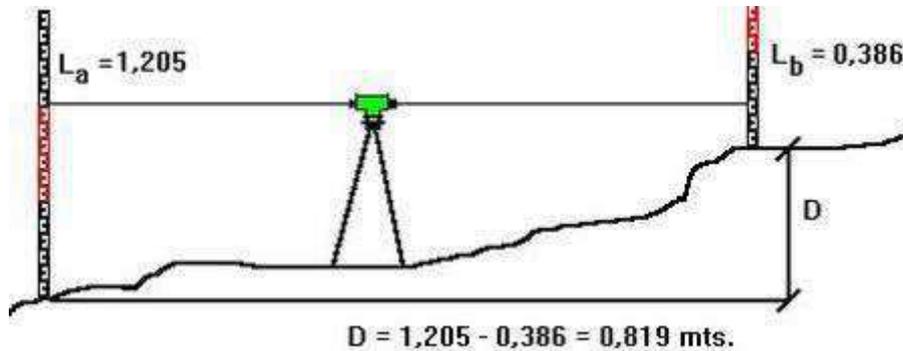


Figura 3. Obtención del desnivel entre dos puntos

Este es el procedimiento a realizar en el caso de que solo busquemos obtener el desnivel existente entre dos puntos, pero en el caso en que es necesario el replanteo o la obtención de una o más cotas, el cálculo se torna más complejo, ya que debemos agregar dos nuevos elementos al cálculo: la cota y el plano Visual (PV) o cota del eje óptico del anteojo del nivel, paso intermedio que debemos realizar antes de calcular la cota de los demás puntos.

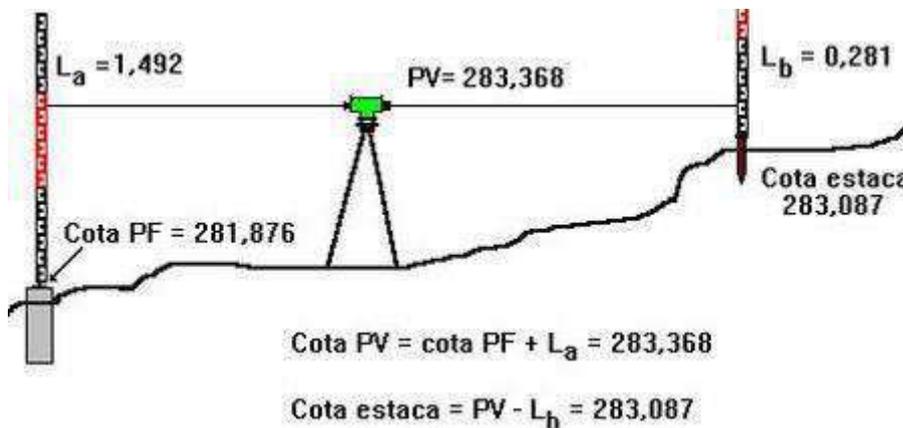


Figura 4. Replanteo de la cota en un punto desconocido.

Para el trabajo con cotas debemos tener al menos uno de los puntos, objetos del trabajo, con cota conocida o un PF en sus inmediaciones, a los efectos de tomarlo como plano de referencia, de no ser así se deberá hacer una nivelación llamada de "enlace" a los efectos de darle cota a uno de los puntos dentro del trabajo, de no ser posible o económicamente conveniente, siempre queda la opción de nivelar uno de los puntos

mediante la colocación sobre él de un baroaltímetro (instrumento que a través de la medición de la presión barométrica nos da una altura aproximada sobre el nivel del mar), o simplemente darle una cota arbitraria.

Supongamos como en el caso anterior tener un PF como inicio del trabajo, esto facilita la tarea, se debe colocar la mira sobre este y se toma la lectura, en general solo se utiliza el hilo medio, aunque algunos prefieren tomar lecturas sobre los tres hilos y hacer luego la comprobación siguiente:

$$(\text{Hilo sup.} - \text{Hilo inf.}) / 2 = \text{Hilo medio}$$

Esto no es necesario, y en la práctica suele tomarse engorroso; una vez tomada la lectura se suma este valor a la cota del PF y hemos obtenido la cota del PV. Ya obtenida esta cota se colocará la mira sobre la estaca a la que se quiere dar cota y se tomará una nueva lectura. A partir de ella se podrá notar que esta lectura es la diferencia entre la cota del PV y la cota de la estaca, de manera que restamos la lectura obtenida a la cota del PV y el resultado es la de la estaca.

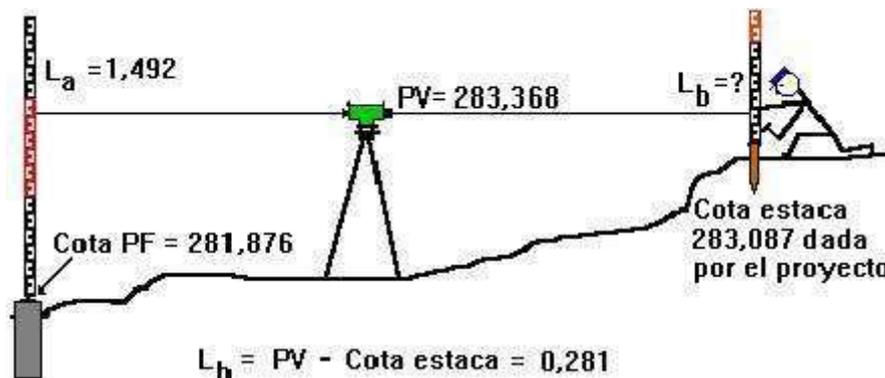


Figura 5. Materialización de una cota

Otro caso particular del uso de las cotas es cuando necesitamos replantear una cota que aparece en un plano de proyecto de obra y no está materializada en el terreno. Si volvemos al caso anterior, esta vez la cota a la que deberá quedar la estaca es conocida previamente porque aparece en el proyecto que estamos replanteando. En este caso clavamos la estaca apenas en el terreno y dejamos la masa a mano, esta vez ya conocemos la cota del PV que ya había sido calculada, y la cota a la que deberá quedar la estaca, nos falta la diferencia entre ambas, que hallaremos restando ambos valores, de esta forma hacemos la resta y el resultado será la lectura que deberemos ver en el

retículo; retomamos entonces la masa y alternativamente golpearemos la estaca y haremos lecturas hasta que obtengamos el valor calculado (En el caso del ejemplo 0,281).

### Nivelación geométrica compuesta o lineal

Es el método más usado ya que generalmente los puntos a nivelar se encuentran a más de la distancia máxima en que se puede colocar la mira, y por lo tanto se deben realizar tantas nivelaciones simples como sean necesarias para unirlos. Para realizar una nivelación se debe tener en cuenta una distancia para cada tramo de entre 120 a 180 m y luego dividir la longitud total por esta distancia para hallar la cantidad de tramos a realizar; los puntos intermedios entre los dos (o más) puntos objetos del trabajo, se llamarán puntos de paso o PP.

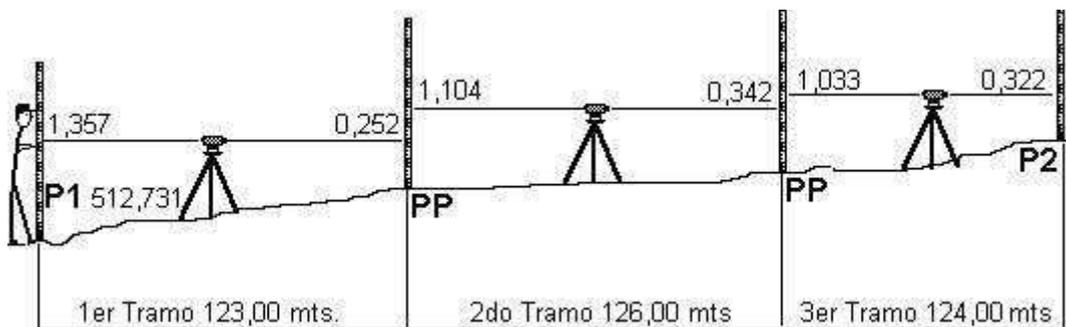


Figura 6. Nivelación Geométrica compuesta

### Nivelación geométrica de superficies

Es la nivelación que se ejecuta partiendo de un PF, acotando varios puntos desde una misma estación.

Para su ejecución se lee sobre la mira colocada sobre un PF, y se obtiene un PV que será común a todos los puntos relevados o replanteados, de ahí en adelante. Este procedimiento se utiliza en los casos en que se debe relevar una superficie para conocer su pendiente o para luego dibujar las curvas de nivel que representarán una superficie en un gráfico, o también al replantear la pendiente, como por ejemplo, un caño de cloacas o el cordón de una vereda.

## Nivelación trigonométrica

Es la nivelación que se realiza a partir de la medición de ángulos cenitales, de altura o depresión, y de distancias que luego se usarán para la resolución de triángulos rectángulos, donde la incógnita será el cateto opuesto del ángulo a resolver, que en estos casos son el desnivel existente entre el punto estación y un punto cualquiera.

El ejemplo más simple es cuando con un teodolito medimos un ángulo y con un E.D.M. adosado al mismo, la distancia inclinada existente entre la estación y un punto cualquiera.

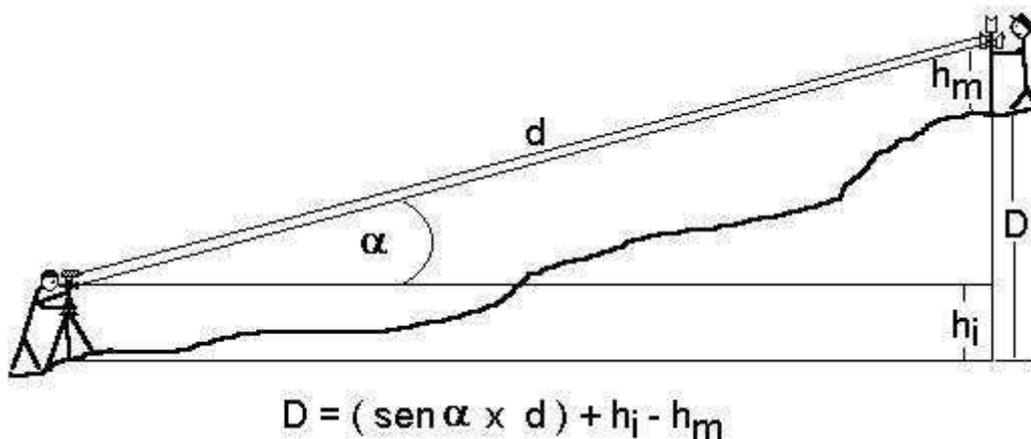


Figura 7. Nivelación trigonométrica

## Nivelación satelital

Los dispositivos más económicos que reciben la señal del Sistema de posicionamiento Global, conocido por sus siglas en inglés GPS (Global Positioning System), pueden determinar la altitud pero no tienen la suficiente precisión para realizar nivelaciones de uso topométrico. Sin embargo, el dato de altitud que proporcionan puede ser de mucha utilidad para un conjunto amplio de profesionistas en particular y de usuarios en general que no requieren resultados con la precisión de la topometría. Ejemplo de estos profesionistas son los biólogos cuando desean conocer la altitud aproximada en que se encuentran determinadas especies vegetales o animales; los agrónomos, en el caso de ubicación de parcelas o cultivos. También los deportistas utilizan los navegadores GPS, cuando se desplazan de un lugar a otro. Actualmente se utiliza esta tecnología con fines de localización, control y seguridad de vehículos sobre todo de carga y autotransporte. Podemos decir en términos generales que la altitud proporcionada por un navegador

GPS puede tener una precisión de 50 m y ello se debe a que el cálculo que realiza el satélite se hace tomando como base el elipsoide, que es una figura geométrica, y no el geoide que es una figura idealizada de la tierra pero no tiene geometría definida. La diferencia entre uno y otro no es la misma en todos los lugares del mundo, solo en pocos lugares tienen coincidencia. A grosso modo los datos que proporciona el navegador nos sirven para realizar el perfil, pues con las coordenadas UTM podemos calcular las distancias entre puntos.

$H$  = Altura ortométrica (lo que conocemos como altitud)

$h$  = Altura elipsoidal

$N$  = Altura Geoidal (Diferencia entre geoide y elipsoide)

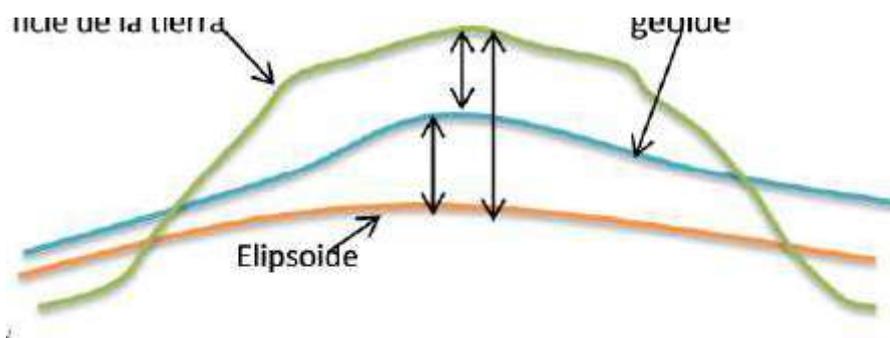


Figura 8. Diferencias gráficas entre los modelos de alturas

## Ángulos Horizontales y verticales

Los ángulos que se miden en topografía se clasifican en horizontales o verticales, dependiendo del plano en que se midan. Los ángulos horizontales son las medidas básicas que se necesitan para determinar rumbos y acimut. Los ángulos verticales (o cenitales) se usan en la nivelación trigonométrica, en estadía y para reducir distancias inclinadas con respecto a la horizontal. Condiciones básicas para determinar un ángulo.

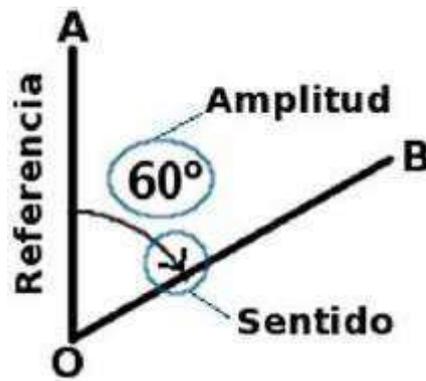


Figura 9. Determinación de la amplitud de un Angulo

Existen tres condiciones básicas que determinan un ángulo. Como se muestra en la figura, éstas son: (1) la línea de referencia, (2) el sentido del giro, y (3) la amplitud. Los métodos para calcular rumbos y acimut que se describen en este capítulo se basan en esos tres elementos

Clases de ángulos horizontales: Los ángulos horizontales que se miden más a menudo en topografía son: (1) ángulos interiores, (2) ángulos a la derecha, y (3) ángulos de deflexión.

Ángulos interiores, los ángulos interiores, que se muestran en la gráfico 10, son los ángulos que quedan dentro de un polígono cerrado. Normalmente se mide el ángulo en cada vértice del polígono. Luego, puede efectuarse una verificación de los valores obtenidos, dado que la suma de todos los ángulos en cualquier polígono debe ser igual a  $(n - 2)180^\circ$ , donde  $n$  es el número de ángulos.

Ángulos exteriores Los ángulos exteriores, que quedan fuera del polígono cerrado, son explementos (suplementos a  $360^\circ$ ) de los ángulos interiores. Raras veces resulta ventajoso medir estos ángulos, a no ser que se trate de una comprobación, ya que la suma de los ángulos interiores y exteriores en cualquier estación debe ser igual a  $360^\circ$ .

Ángulos de deflexión Los ángulos de deflexión gráfica 10 se miden ya sea hacia la derecha (el sentido de las manecillas se considera positivo) o hacia la izquierda (sentido opuesto de las manecillas, considerado como negativo), a partir de la prolongación de la línea de atrás y hacia la estación de adelante. Los ángulos de deflexión son siempre menores de  $180^\circ$  y el sentido de giro se define anexando una D o una / al valor numérico. Así, el ángulo en B en la gráfica 10 es derecho (D) y el ángulo en C es izquierdo (/)

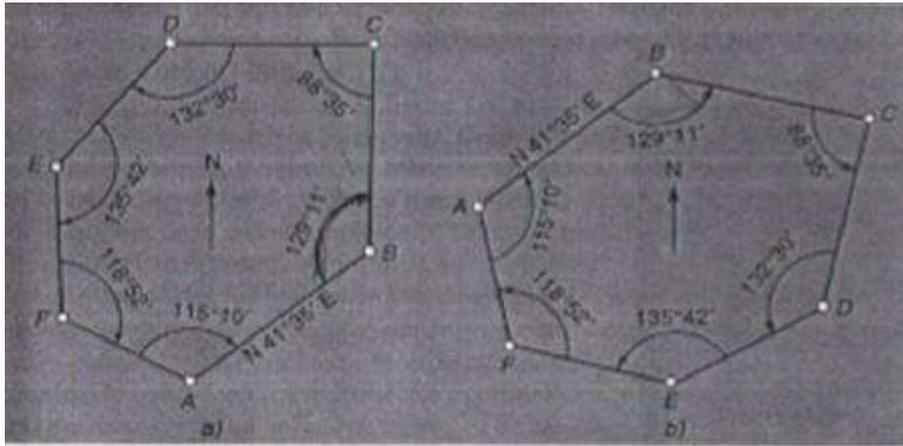


Figura 10. Ángulos interiores y de deflexión

### RUMBOS

El rumbo de una línea es el ángulo horizontal agudo ( $<90^\circ$ ) que forma con un meridiano de referencia, generalmente se toma como tal una línea Norte-Sur que puede estar definida por el N geográfico o el N magnético (si no se dispone de información sobre ninguno de los dos se suele trabajar con un meridiano, o línea de Norte arbitraria). Para determinar el rumbo de una línea es necesario conocer la ubicación de la línea de referencia desde la estación (punto de medida). En el caso de la figura 11 se supone que existe un instrumento localizado en el punto O (estación), desde el cual se puede observar la línea Norte

Sur (NS) y configurar una cruz que señala los cuatro puntos cardinales. Luego se da vista al segundo punto que conforma la línea, para el ejemplo van a ser cuatro: A, B, C y D

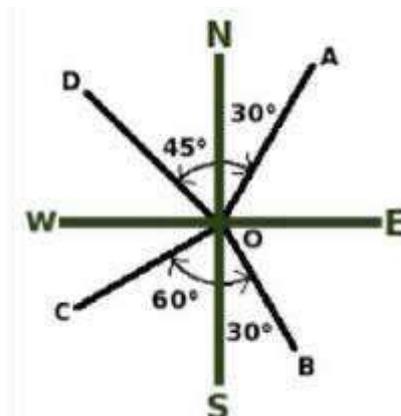


Figura 11. Determinación del rumbo desde una estación

Rumbo inverso (contra-rumbo) En el ejemplo de la figura anterior todos los rumbos se midieron desde el punto O. Cuando se trata del rumbo de la misma línea, pero observado desde el extremo opuesto se habla de rumbo inverso o contra-rumbo. Convertir rumbos a contra-rumbos es muy sencillo, pues los ángulos son ángulos alternos-internos (recordar el teorema de ángulos congruentes en una secante que corta dos líneas paralelas), entonces el único trabajo que resta es cambiar las letras que indican el cuadrante por las contrarias, es decir N por S (y viceversa) y E por W (y viceversa).

## AZIMUT

El azimut (o acimut; ambas grafías son válidas de acuerdo a la RAE) de una línea es el ángulo horizontal medido en el sentido de las manecillas del reloj a partir de un meridiano de referencia. Lo más usual es medir el azimut desde el Norte (sea verdadero, magnético o arbitrario), pero en ocasiones se usa el Sur como referencia.

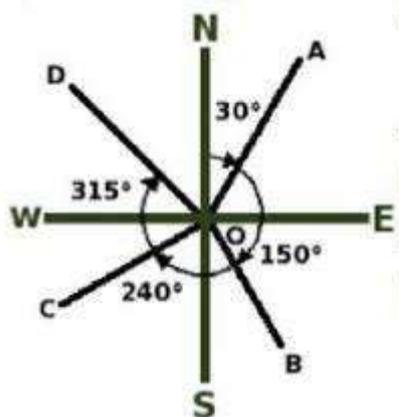


Figura 12. Determinación del azimut desde una estación.

Azimut inverso (contra-azimut) De la misma manera que con los rumbos, si se mide el azimut de una línea desde el extremo opuesto al inicial se está midiendo el azimut inverso. El contra-azimut se calcula sumándole  $180^\circ$  al original si éste es menor o igual a  $180^\circ$ , o restándole los  $180^\circ$  en caso de ser mayor.

## ÁNGULO VERTICALES

Un ángulo vertical es la diferencia de dirección entre dos líneas que se cortan, situadas en un plano vertical. Como se le usa comúnmente en topografía, es el ángulo hacia

arriba o hacia abajo del plano horizontal que pasa por el punto de observación. A los ángulos que se miden hacia arriba del plano horizontal se les llama alturas o ángulos de elevación y son positivos. A los medidos hacia abajo se les llama ángulos de depresión y son negativos.

## ANGULOS EN GEOMETRIA

Tipos de ángulos por su tamaño

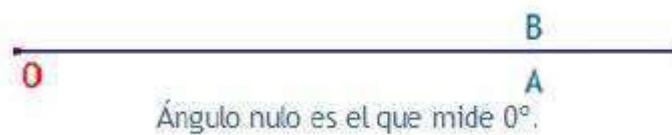
Angulo llano



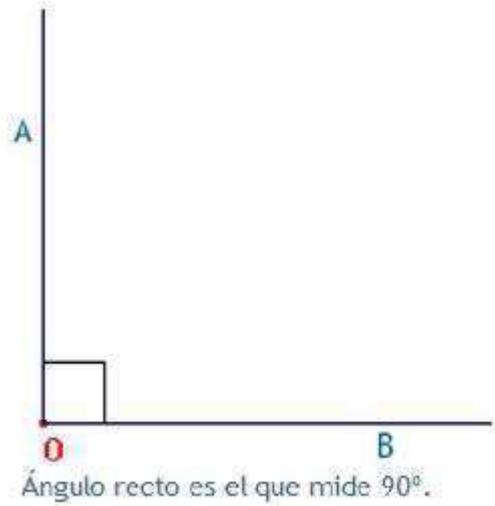
Angulo completo



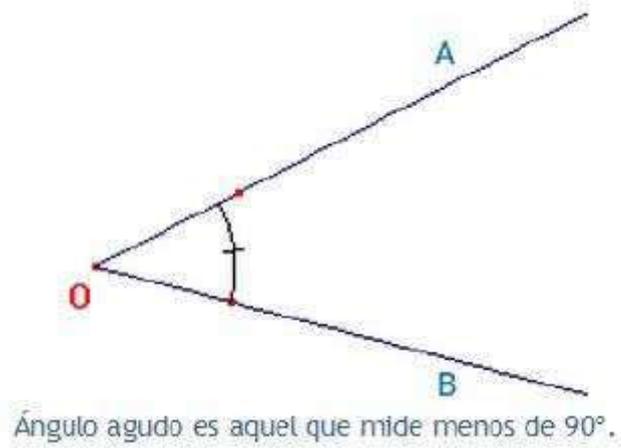
Angulo nulo



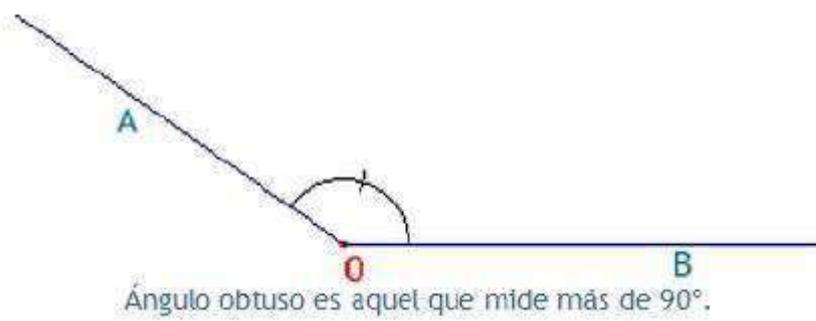
Angulo recto



Angulo agudo

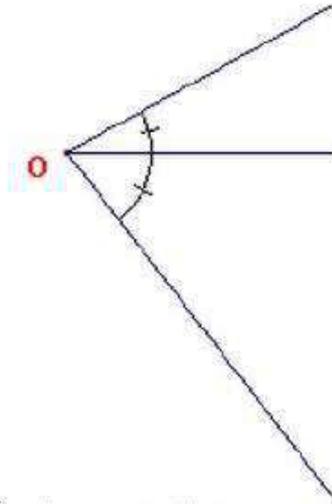


Angulo obtuso



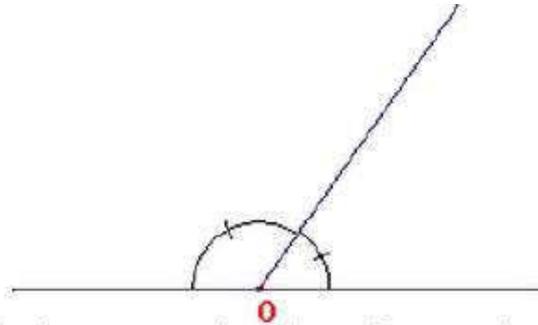
## Tipos de ángulos por posición

### Ángulos consecutivos



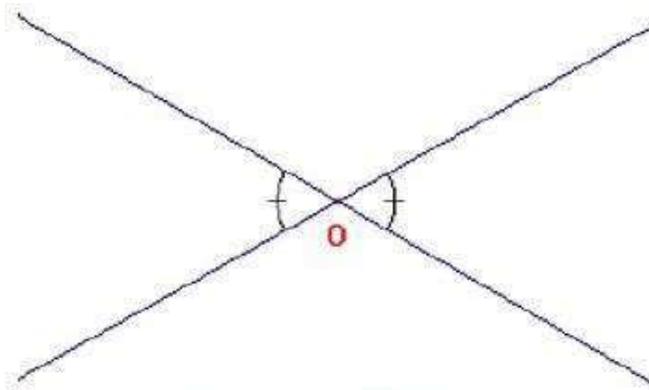
Ángulos consecutivos son aquellos que tienen un mismo vértice y un lado en común.

### Ángulos adyacentes



Estos ángulos son consecutivos y juntos forman un ángulo llano.

### Ángulos opuestos por el vértice



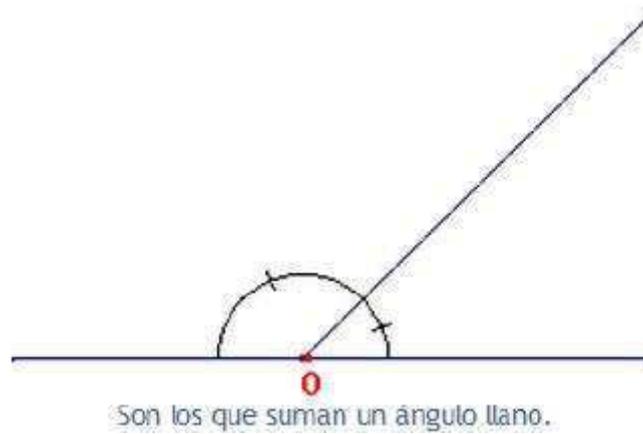
Tienen el vértice en común y los lados en prolongación.

## Tipos de ángulos por su suma

### Ángulos complementarios



### Ángulos suplementarios



## Planimetría y altimetría

### Planimetría:

Es la parte de la topografía que estudia el conjunto de métodos y procedimientos que tienden a conseguir la representación a escala de todos los detalles interesantes del terreno sobre una superficie plana, prescindiendo de su relieve; solo tiene en cuenta la proyección del terreno sobre un plano horizontal imaginario que se supone es la superficie media de la Tierra. La Planimetría considera la proyección del terreno sobre un plano horizontal, esta proyección se denomina “Base Productiva” y es la que se considera cuando se habla del área de un terreno. Las distancias se toman sobre la proyección.

### Altimetría:

Es la parte de la Topografía que estudia el conjunto de métodos y procedimientos para determinar y representar la altura; también llamada "cota", de cada uno de los puntos, respecto de un plano de referencia. Con la Altimetría se consigue representar el relieve del terreno, (planos de curvas de nivel, perfiles, etc.). En la Altimetría se tienen en cuenta las diferencias de nivel existentes entre los diferentes puntos del terreno.

Tanto en Planimetría como en Altimetría necesario medir ángulos y longitudes, además, se calculan superficies y volúmenes. Para la elaboración de un “plano topográfico” propiamente dicho, es necesario conocer estas dos partes de la Topografía para poder determinar la posición y elevación de cada punto.

## Curvas de Nivel

El sistema de representación de curvas de nivel consiste en cortar la superficie del terreno mediante un conjunto de planos paralelos entre sí, separados una cierta distancia unos de otros. Cada plano corta al terreno formando una figura (plana) que recibe el nombre de curva de nivel o isohipsa. La proyección de todas estas curvas de nivel sobre un plano común (el mapa) da lugar a la representación buscada.

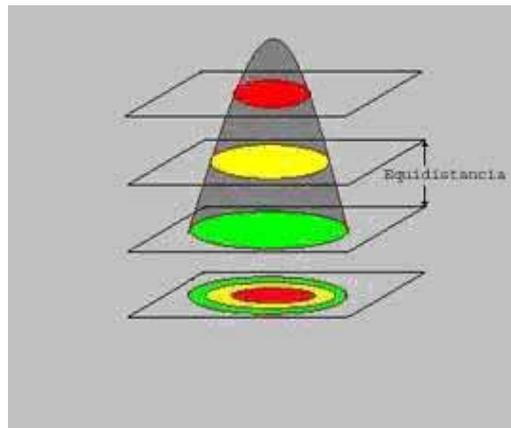


Figura 13. Planos Equidistantes formando curvas de nivel

En la figura se ve la construcción para representar mediante curvas de nivel una montaña. La montaña es cortada mediante planos paralelos separados una cierta distancia que se llama equidistancia entre curvas de nivel.

Las intersecciones de los planos con la superficie de la montaña determinan un conjunto de secciones que son proyectadas sobre el plano inferior, que representa al mapa. El resultado final que observaremos sobre el mapa es algo como esto:

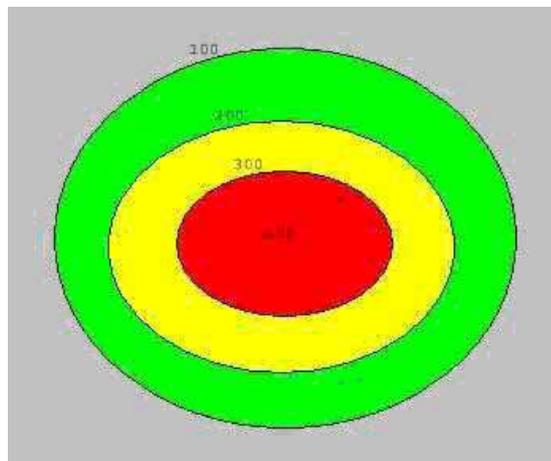


Figura 14. Cortes de los planos proyectados sobre el papel

Al observar la figura nos puede quedar la duda sobre qué secciones están por encima de otras. Es decir, ¿está realmente la sección roja por encima de la amarilla y de la verde?

El problema anterior se resuelve fácilmente si para cada sección indicamos su altura con respecto a un plano de referencia, y como tal plano se toma el nivel del mar. De este modo la sección verde se ha obtenido cortando la montaña mediante un plano paralelo al nivel del mar y una altura (o nivel) de 100 metros con respecto a aquél. La sección amarilla se ha obtenido mediante la intersección con un plano a 200 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m). Y la sección roja con un plano a 300 metros m.s.n.m. Para cada curva de nivel indicaremos esa altitud y le denominaremos cota.

La equidistancia entre curvas de nivel se puede deducir ahora con facilidad para el ejemplo dado: 100 metros.

En la siguiente figura se ve como se efectúa la construcción de curvas de nivel de una depresión, que es el caso opuesto al monte de la figura anterior.

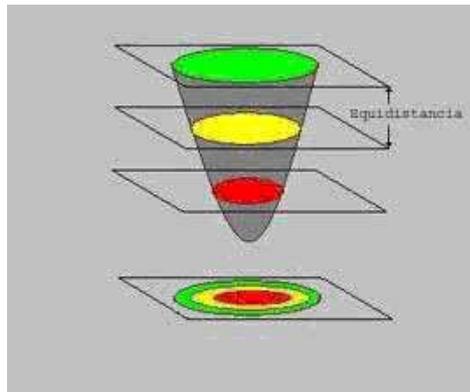


Figura 15. Cortes de los planos proyectados sobre una depresión

Puede observarse que el procedimiento a seguir es exactamente el mismo y que se obtiene la misma representación.

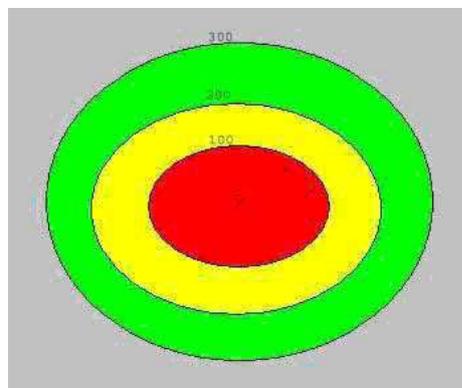


Figura 16. Curvas de nivel de una depresión

Sin embargo, la acotación de las curvas de nivel no deja lugar a dudas. Podemos observar que las curvas de mayor cota encierran a las curvas de cota menor, señal inequívoca de una depresión en el terreno. En un monte ocurre justo lo contrario, las curvas de nivel de menor cota encierran a las de cota mayor.

Las curvas de nivel verifican las siguientes premisas de manera general:

Las curvas de nivel no se cortan ni se cruzan (sólo ocurre esto cuando queremos representar una cueva o un saliente de roca).

Las curvas de nivel se acumulan en las laderas más abruptas y están más espaciadas en las laderas más suaves.

La línea de máxima pendiente entre dos curvas de nivel es aquella que las une mediante la distancia más corta.

En la siguiente figura tenemos dos itinerarios para alcanzar una cumbre desde dos puntos A y B. Desde el punto A (itinerario rojo) es más largo que desde el punto B (recorrido azul). Sin embargo, el itinerario azul es mucho más duro ya que las curvas de nivel se hallan más apretadas o, si se prefiere, el camino atraviesa las curvas de nivel en menos espacio.

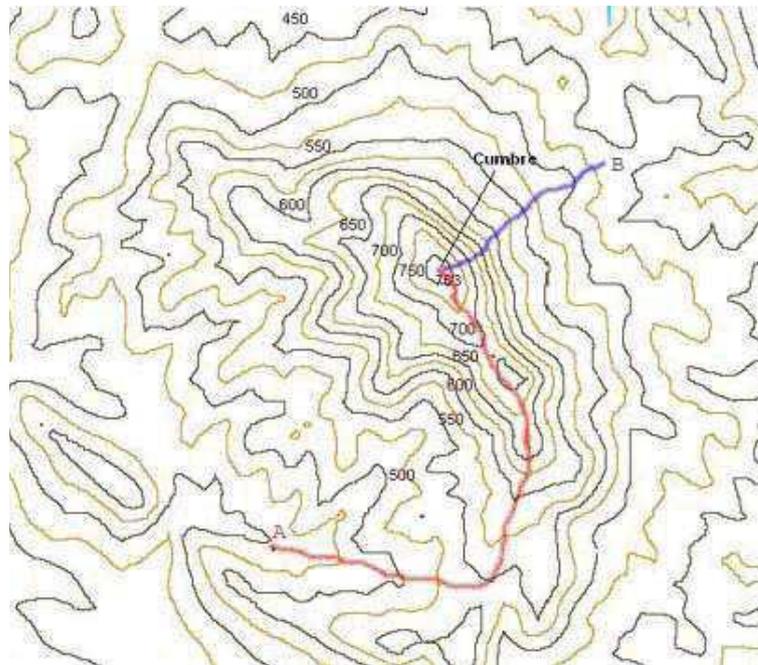


Figura 17. Curvas de nivel representando diferentes itinerarios hasta la cumbre

## Equidistancia entre curvas de nivel

La distancia entre los diversos planos imaginarios que cortan el terreno es siempre la misma para un mapa dado y se llama equidistancia entre curvas de nivel.

En el plano anterior la equidistancia entre curvas de nivel es de 25 metros. Obsérvese que se usan dos colores para poder contar mejor las curvas de nivel. Así las líneas más oscuras aparecen cada 50 metros, y entre dos de ellas consecutivas aparece una línea más clara. En cualquier caso entre dos curvas de nivel tendremos una diferencia de altitud de 25 metros. A las líneas más oscuras se les suele llamar curvas de nivel maestras.

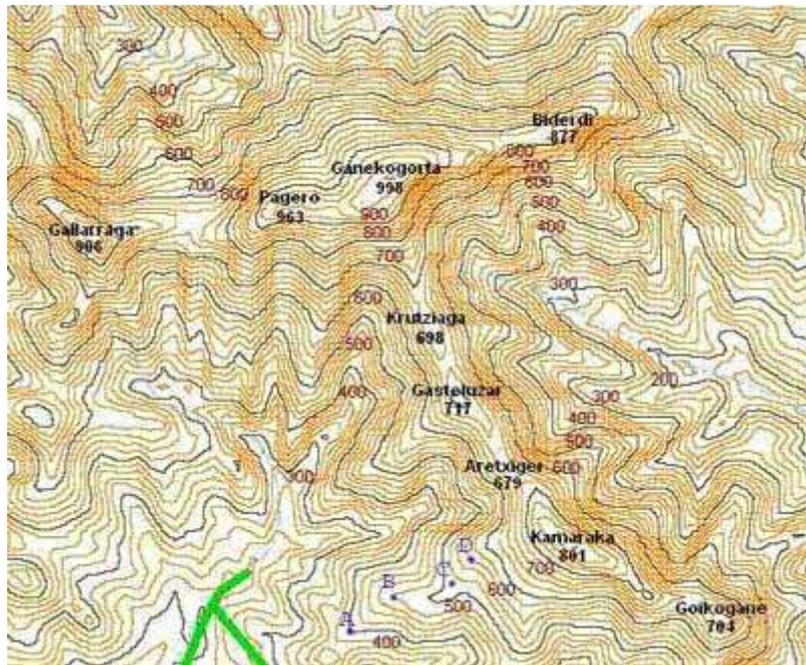


Figura 18. Equidistancia entre curvas de nivel

En el nuevo plano tenemos un mapa con equidistancia entre curvas de nivel de 20 metros. Las curvas maestras aparecen en tono oscuro cada 100 metros. Entre dos curvas maestras consecutivas tenemos, por tanto, cuatro curvas de nivel en tono más claro. Entre dos curvas cualesquiera existe una diferencia de nivel de 20 metros.

## Cota de un punto

Cada punto de un mapa se sitúa a una altitud definida que se viene a denominar cota. La cota de un punto es la longitud vertical que lo separa del plano de

comparación, normalmente el nivel del mar.

En vista al plano anterior podemos ver que la cota del punto A es 400 metros, pues se sitúa sobre la curva maestra de 400 metros. La cota del punto B es 480 metros, pues se halla a cuatro curvas de nivel por encima de la curva maestra de 400 metros ( $400 + 4 \times 20 = 480$  m). También se puede determinar su cota observando que está en la curva de nivel anterior a la curva maestra de 500 metros ( $500 - 20 = 480$  m). El punto C se encuentra entre las curvas de nivel 500 y 520 metros. Su cota estará pues comprendida entre estos dos valores pero no lo podemos saber con certeza. En tales casos se puede tomar como valor aproximado el valor medio, 510 metros. Finalmente la cota del punto D es 560 metros ( $500 + 3 \times 20 = 560$  m).

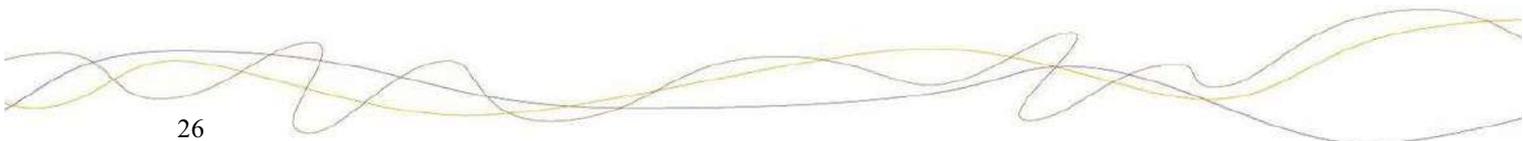
La referencia establecida para la medición de altitudes (cotas) constituye, en sí, otro ejemplo de datum (el datum vertical). Cada país tiene definido su propio datum vertical, su propia referencia. Si éste tiene costa se elige algún lugar de la misma, como es en España, Alicante. Los países que no tienen costa transfieren el datum a algún lugar de otro país próximo. Este es el caso de Suiza, por ejemplo, que refiere las altitudes al nivel del mar en Marsella. Uno de los casos más destacados por su magnitud es la diferencia de 2'31 metros que hay entre las altitudes medidas en Bélgica y Holanda. En este caso la discrepancia es debida a que en Bélgica la referencia es el nivel medio más bajo en las mareas de primavera, mientras que en Holanda se toma el más alto.

### Curvas de nivel auxiliares

En las regiones muy planas encontramos las curvas de nivel sumamente distanciadas por lo que apenas tendremos información relativa a la topografía del terreno.

Supongamos, por ejemplo, un plano con una equidistancia entre curvas de nivel de 25 metros. Cualquier accidente que sea de menor altura sobre el terreno que 25 m quedará sin representar. Pero bastará una franja rocosa vertical de, por ejemplo, 4 metros, para que nos resulte infranqueable.

Estas dos situaciones nos empujan a aumentar el número de curvas de nivel en ciertas zonas de los mapas añadiendo curvas de nivel de menor equidistancia y que se dibujan entre dos curvas de nivel consecutivas. Reciben, estas curvas, el nombre



de curvas de nivel auxiliares.

Las curvas de nivel auxiliares se suelen representar mediante trazos discontinuos. En los mapas de equidistancia entre curvas de nivel de 20m, aparecen entre curvas de nivel consecutivas con una equidistancia de 10 m. Por tanto, si entre las curvas de nivel de 340 y 360 metros de cota se nos muestra una curva discontinua, sabremos que es una curva de nivel auxiliar de 350 metros.

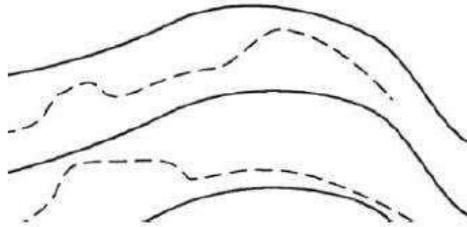


Figura 19. Representación de curvas de nivel auxiliares.

### Tintas hipsométricas

Un método muy común de representar el relieve en muchos mapas es mediante el método llamado tintas hipsométricas. Este método consiste en dar un color determinado a todos los puntos de un mapa que se sitúan entre dos cotas dadas. Por ejemplo, se puede dar un color verde claro a todos los puntos del mapa con cota comprendida entre 100 y 300 m, verde más oscuro a los puntos con cotas entre 300 y 500 m, amarillo a los puntos con cotas entre 500 y 700 m, etc. Normalmente se usan las tintas hipsométricas como un complemento a las curvas de nivel.

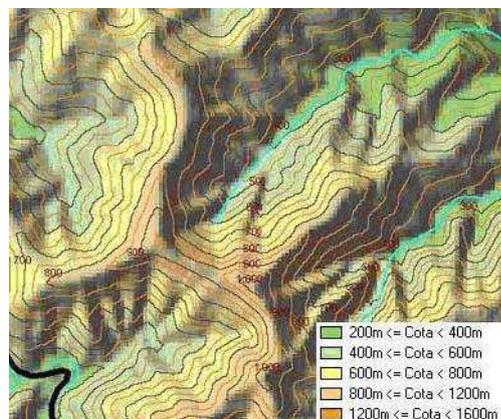


Figura 20. Representación de curvas de nivel con tintas hipsométricas.

En la figura se observa un mapa que usa tintas hipsométricas como complemento a las curvas de nivel (equidistancia de 50 metros) para representar el relieve. En el cuadro anexo se representan los colores usados para cada intervalo de altitudes.

## Interpolación de curvas de nivel

Ya hemos visto como obtener los datos necesarios para generar curvas de nivel, pero ¿Cómo se pasa de una colección o grupo de puntos en el espacio a el dibujo de las curvas de nivel?, bueno el procedimiento matemático se conoce con el nombre de interpolación de curvas de nivel y es la manera de encontrar o ubicar espacialmente por donde pasan las líneas de igual elevación. Para resolver el problema, se han creado diferentes métodos matemáticos que recurren en su mayoría a complejas funciones estadísticas o de cálculo vectorial, por suerte existe un método relativamente fácil denominado

Este método consiste en lo siguiente: Dados dos puntos A y B del terreno, de los cuales sabemos sus elevaciones o Cotas y además la distancia horizontal entre ellos (producto de su ubicación espacial o sus coordenadas), podemos determinar a qué distancia (desde el punto A o B) pasa la(s) curva(s) de nivel que nos interesa determinar por simple semejanza de triángulos.

Ejemplo:

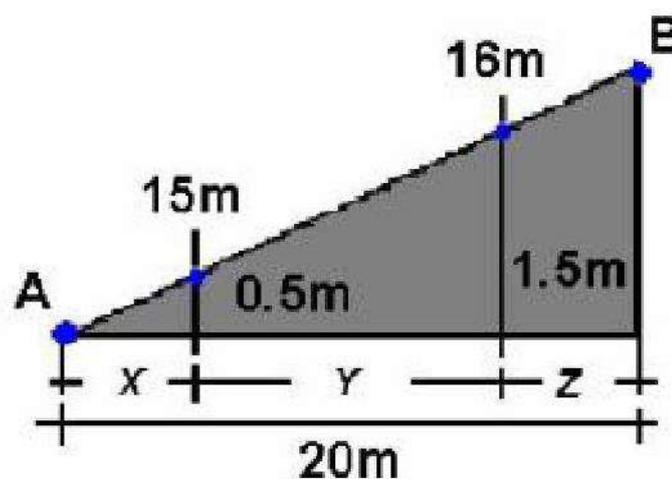


Figura 21. Interpolación de dos puntos a distintas distancias

Dada las cotas de dos puntos: Cota A: 14,5m y Cota B: 16,5 m, la distancia de separación es de 20 metros. Se pide determinar las distancias desde el punto A, a las curvas de nivel que pasan entre los puntos, considerando una interpolación cada 1 metro.

Podemos apreciar en la Figura Anterior, que entre ambos puntos pasan las curvas 15 y 16 m respectivamente, entonces podemos determinar las distancias como sigue: Para el desarrollo del ejemplo nosotros conocemos la Distancia horizontal entre los puntos A y B que es de 20 m. y además por diferencia de altura conocemos el Desnivel;

$$\text{Desnivel} = \text{Cota B} - \text{Cota A};$$

$$\text{Desnivel} = 16,50 - 14,50 = 2,0 \text{ m}$$

Aplicando la semejanza de triángulos podemos encontrar a que distancia horizontal del punto A se encuentra la curva buscada aplicando para ello una regla de tres simple para el desarrollo. Para encontrar la Curva índice 15,00 m. Primero determinamos el desnivel que hay entre el punto A y el punto de la curva buscada, en este caso 15,00 m.

$$\text{Desnivel} = 15,00 - 14,50 = 0,50 \text{ m} \quad 20\text{m}/x = 2,0/0,50 \quad x = 0,50 \times 20 / 2,0 = 5,0\text{m}.$$

El Cálculo anterior nos indica que la curva de nivel de altura 15,00 se encuentra a 5,0 m del punto A.

## Poligonales

La poligonación es uno de los procedimientos topográficos más comunes, es un levantamiento planimétrico que trata de definir en el plano topográfico la posición relativa de una serie de puntos convenientemente elegidos sobre el terreno, en función de las necesidades del trabajo propuesto.

Las poligonales se usan generalmente para establecer puntos de control y puntos de apoyo para el levantamiento de detalles como ser de apoyos topográficos en obras de ingeniería, por ejemplo caminos de cualquier tipo, canales, diques, obras hidráulicas en general, explotaciones mineras, túneles, etc. y también para la elaboración de planos

(trabajos de catastro), para el replanteo de proyectos y para el control de ejecución de obras.

Una poligonal es una sucesión de líneas quebradas, que se obtiene por la unión de una serie de puntos tomados sobre el plano: 1, 2, ..., n en un orden prefijado, llamados vértices donde el primero y el último son los extremos de la poligonal

Los tramos de rectas determinados por dos vértices sucesivos se llaman lados de la poligonal y ellos junto con los ángulos formados por las direcciones que concurren a cada vértice, constituyen los elementos de la poligonal misma.

Para determinar la posición de los vértices de una poligonal en un sistema de coordenadas rectangulares plana, es necesario medir el ángulo horizontal en cada uno de los vértices y la distancia horizontal entre vértices consecutivos, esta posición se puede conseguir de dos modos distintos:

- a) En forma analítica o numérica determinando las coordenadas X, Y en un sistema de referencia ortogonal, el cual puede ser general, cuando la poligonación se puede vincular a puntos de coordenadas conocidas, o un sistema local cualquiera que en forma especial se adopta en función de las particularidades de nuestra poligonal.
- b) En forma Gráfica volcando en un plano (representación gráfica) por medio de los elementos de dibujo adecuado los datos obtenidos al realizar la experiencia de campaña, previa adopción de una escala apropiada y realizando la compensación gráfica, si corresponde.

Los vértices se eligen en posiciones tales que de ellos sea fácil el relevamiento del terreno adyacente y cuando no son objetos existentes (pilares) que puedan definirlos bien, se individualizan mediante estacas de hierro o madera.

Para trabajos de poca duración y de no mucha importancia las estacas se colocan directamente con un martillo. Pero cuando determinan puntos de importancia debiendo permanecer un largo periodo de tiempo ellos deben asegurarse empotrándolos con hormigón.

Casi siempre las estacas se distinguen con un orden, y a tal fin se trabaja la cabeza de modo tal que en ella pueda escribirse el número correspondiente al vértice.

El punto se puede materializar sobre la estaca por medio de un clavo. En trabajos de mayor precisión y especialmente cuando la parte superior no es una figura regular, el punto exacto se individualiza mediante un clavo con cabeza esférica fijada sobre el piquete mismo o si es un piquete de hierro por medio de dos delgados cortes normales empotrándose la estaca con hormigón previamente de haber soldado un trozo de hierro transversalmente.

Para la determinación completa de una poligonal en el terreno necesitamos medir sus elementos, esto es:

- medir los lados
- medir los ángulos

Ambas operaciones requieren que los vértices sean intervisibles, para este fin se utilizan señales: que pueden ser jalones o bastones con prismas reflectores.

## Métodos de Poligonación

### Poligonal Cerrada:

Las poligonales cerradas entregan la comprobación de ángulos y de distancias medidas. Las líneas del polígono se inician en un punto conocido, y al momento de cerrar o completar el polígono, éste se hace en el mismo punto del cual se partió. Las líneas del polígono pueden terminar en otro punto (o estación), el cual debe tener la misma o mayor exactitud con respecto de la posición, esta poligonal es conocida como abierta con control.

### Poligonal Abierta:

Las líneas del polígono se inician en un punto (o estación) conocido, pero al momento de culminar el polígono, éste no cierra en una estación conocida, ni de mayor exactitud que la primera

Las poligonales abiertas se usan en los levantamientos para vías terrestres, pero, en general, deben evitarse porque no ofrecen medio alguno de verificación por errores y equivocaciones. En las poligonales abiertas deben repetirse las medidas para prevenir

las equivocaciones. A las estaciones se las llama a veces vértices o puntos de ángulo, por medirse generalmente en cada una de ellas un ángulo o cambio de dirección.

## Cálculo y Compensación de Poligonales

La resolución de la poligonal, consiste en el cálculo de las coordenadas rectangulares de las estaciones. En cuanto a las poligonales cerradas y abiertas con control se efectúa lo siguiente:

1. Cálculo y compensación del error de cierre angular.
2. Cálculo de azimuts o rumbos entre alineaciones (ley de propagación de los azimuts).
3. Cálculo de las proyecciones de los lados.
4. Cálculo del error de cierre lineal.
5. Cálculo de las coordenadas de las estaciones.

Los pasos 2, 3 y 5 son los únicos que se deben realizar en la poligonal abierta, debido a que es inexistente el control angular y lineal.

1. Cálculo y compensación del error de cierre angular:

Se debe cumplir primeramente que la suma de los ángulos internos:

$$\sum \angle \text{internos} = (n - 2)180^\circ \quad \text{donde } n = \text{número de lados.}$$

Al momento de realizar las correspondientes medidas, éstas están sujetas a errores inevitables de origen instrumental y operacional, por ende el error está dado por la diferencia entre los valores medido y el valor teórico:

$$Ea = \sum \angle \text{medidos} - \sum \angle \text{internos} \quad \text{donde } Ea = \text{error angular}$$

El “Ea” debe estar dentro de una tolerancia admisible, ésta tolerancia está dada por:

Poligonales principales:  $Ta = a(n)^{1/2}$

Poligonales secundarias:  $Ta = a(n)^{1/2} + a$

Dónde:  $Ta =$  Tolerancia angular.

$a =$  Apreciación del instrumento.

$n =$  número de lados.

Si el “Ea” es menor a “Ta”, se procede a corregir los ángulos, de forma igualitaria entro cada uno de los ángulos, asumiendo que el error no es dependiente de la magnitud del ángulo medido. La forma de compensar es la siguiente:

$$Ca = - Ea/n \quad \text{Donde } Ca = \text{Compensación angular}$$

Con las poligonales abiertas con control el “Ea” se obtiene por la diferencia entre el azimut final y el azimut final conocido:

$$Ea = \varphi_{fc} - \varphi_f \quad \text{donde: } \varphi_{fc} = \text{Azimut final conocido}$$

$$\varphi_f = \text{Azimut final}$$

También se realiza una corrección de azimuts, pero de forma acumulativa, a partir del primer azimut medido, es decir, el primer azimut con Ca, el segundo azimut con 2Ca y así sucesivamente.

## 2. ley de propagación de los azimuts:

Los azimuts de una poligonal se pueden calcular en función de un azimut conocido y con los ángulos medidos, usando la ley de propagación de azimuts.

El azimut de  $\varphi_{B1}$  está dado por:  $\varphi_{B1} = \varphi_{AB} - \Delta B$ ; donde  $\Delta B = 180^\circ - \alpha$

$$\text{Luego } \varphi_{B1} = \varphi_{AB} + \alpha - 180^\circ$$

Análogamente:

El azimut de  $\varphi_{B1}$  está dado por:  $\varphi_{12} = \varphi_{B1} + \Delta 1$ ; donde  $\Delta 1 = \angle 1 - 180^\circ$

$$\text{Luego } \varphi_{12} = \varphi_{B1} + \angle 1 - 180^\circ$$

Generalizando el procedimiento, tenemos que:

$$\varphi_i = \varphi_{i-1} + \angle \text{vértice} \pm 180^\circ$$

Dónde:

$\varphi_i = \text{Azimut dado}$

$\phi_{i-1}$  = Azimut anterior

Si:

$(\phi_{i-1} + \angle \text{vértice}) < 180^\circ$ . Se le suma  $180^\circ$

$(\phi_{i-1} + \angle \text{vértice}) \geq 180^\circ$ . Se le resta  $180^\circ$

$(\phi_{i-1} + \angle \text{vértice}) \geq 540^\circ$ . Se le resta  $540^\circ$ , debido q que el azimut debe ser menos a  $360^\circ$

3. Cálculo de las proyecciones de los lados:

El cálculo de las proyecciones se realiza en función de los azimuts:

$$\text{Proyección EW} = D \cdot \text{sen} \alpha$$

$$\text{Proyección NS} = D \cdot \text{cos} \alpha$$

Dónde: D= Distancia.

$\alpha$  = Azimut.

## 4. Cálculo del error de cierre lineal:

En la poligonal cerrada la suma de las proyecciones de los ejes norte-sur debe ser cero, análogamente la de los ejes este-oeste también debe ser cero. De la figura 6 se puede deducir:

$$\sum \text{proyecciones de N} = \sum \text{proyecciones de S}$$

$$\sum \text{proyecciones de E} = \sum \text{proyecciones de W}$$

Teniendo en consideración el error asociado:

$$\sum \text{proyecciones de N} - \sum \text{proyecciones de S} = \epsilon_{NS}$$

$$\sum \text{proyecciones de E} - \sum \text{proyecciones de W} = \epsilon_{EW}$$

El error lineal se calcula de la siguiente manera:

$$\epsilon_L = ((\epsilon_{NS})^2 + (\epsilon_{EW})^2)^{1/2}$$

El error corresponderá a:

$$\epsilon_{\Delta N} = \sum \Delta N-S - \Delta NBC$$

$$\epsilon_{\Delta E} = \sum \Delta E-O - \Delta EBC$$

A demás el error lineal está dado por  $\epsilon L$ , , la tolerancia está dada por::

$$P = \epsilon L / \Sigma L$$

Dónde:

P = Precisión de la poligonal.

$\Sigma L$  = Suma de los lados de la poligonal.

El error relativo “n” se suele expresar así:

$$n = 1/p$$

##### 5. Cálculo de las coordenadas de las estaciones:

Para obtener las coordenadas de las estaciones de la poligonal, se debe obtener las coordenadas del punto inicial, el cual es la base del futuro cálculo, ejemplificando (N2000, E2000), a estas coordenadas se le suman las proyecciones pertinentes al punto en cuestión. Este proceso se repite en todos los lados de la poligonal, hasta llegar al punto de partida. Si las coordenadas finales, cuando se regresa al punto de partida, son iguales a las coordenadas iniciales significa que se efectuó correctamente el procedimiento.

Sea A el punto de inicio de la poligonal y B el siguiente punto, la formula quedara:

Coordenada de B= Coordenada de A + proyección AB

Coordenada de B= Coordenada de A + proyección AB

### Cálculo de Distancias

Para realizar el cálculo de las distancias es necesario el uso de fórmulas matemática, teniendo:

$$D_{hor} = D_{inc} \cos(\alpha) = D_{inc} \sin(V)$$

La distancia buscada está en función del ángulo vertical y se debe obtener la distancia horizontal.

Se puede concluir:  $x = (G/2) \cdot \cos(\alpha)$

$$D_{inc} = KG' = K(2x) = KG \cdot \cos(\alpha)$$

Con ello:

$$D_{hor} = D_{inc} \cdot \cos(\alpha)$$

$$D_{hor} = (KG \cos(\alpha)) \cdot \cos(\alpha)$$

$$D_{hor} = KG \cdot \cos^2(\alpha)$$

Análogamente por el ángulo complementario:

$$D_{hor} = KG \cdot \text{SEN}^2(V)$$

También se debe tener en cuenta la constante del prisma usado, ya que, este influye en la medida final.

## Instrumentos topográficos

### Jalón:

Es un vástago de madera, acero o aluminio; cuya longitud es de 2 a 3 m. uno de sus extremos termina en punta; se pintan en fajas alternada, rojas y blancas de medio metro de longitud. Tienen sección transversal cilíndrica o hexagonal de 2.5 cm de diámetro. Sirven para indicar la localización de puntos o la dirección de líneas temporalmente mientras duren las mediciones, siendo puestas en posición vertical ya sea empleando trípodes especiales o usando otro jalón como puntal. Nota.- Se podrá poner el jalón lo más verticalmente posible, si lo suspendemos ligeramente y dejamos que la gravedad lo ubique.

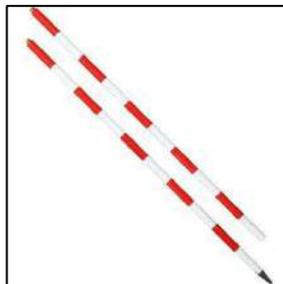


Figura 22. Jalones

### Cinta:

Se usan para medir distancias y están hechas en diferentes materiales, longitudes y pesos. Las más comunes son hechas de tela y de acero. Las de tela están hechas de material impermeable y llevan un refuerzo delgado de 4, 6 u 8 hilos de acero o de bronce para impedir que se alarguen con el uso. Vienen de 10, 20, 30 m y su ancho es de 16mm. Estas no se emplean para levantamientos de mucha precisión o cuando los alineamientos son largos, pues con el uso se estiran. Las cintas de acero se emplean para mediciones de precisión. Las longitudes más comunes son 15, 20, 30, 50 y 100 m. son un poco más angostas que las de tela, tiene la desventaja de partirse más fácilmente.

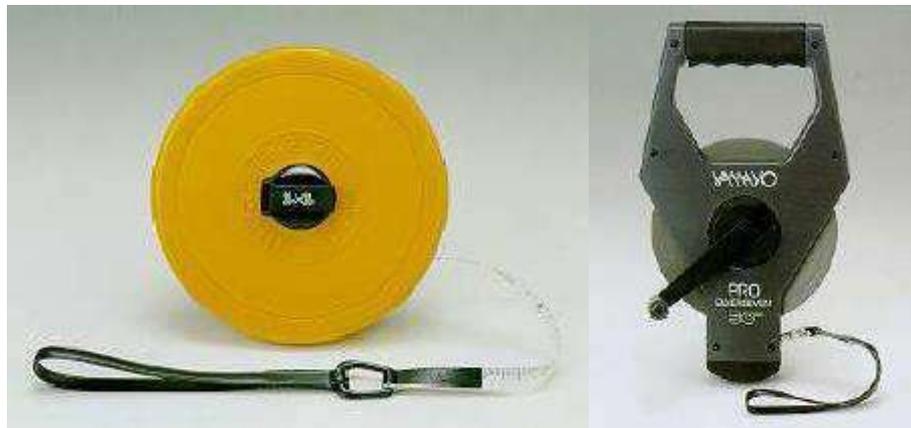


Figura 23. Tipos de Cintas

### Mira topográfica:

Es una regla graduada cada 10 cm de madera o aluminio y generalmente tiene una longitud de 4 metros, nos permite leer con aproximación al milímetro, se utiliza generalmente para hacer nivelaciones geométricas y mediciones de distancias por el método de taquimetría.

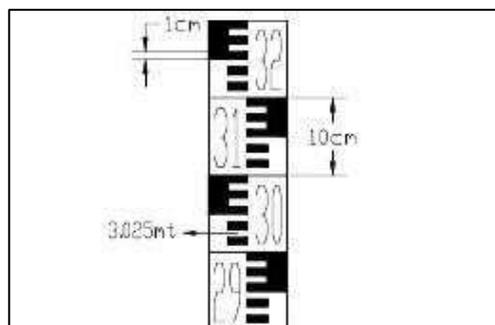


Figura 24. Detalle de Mira estadimétrica.

### Trípode:

Proporciona adecuado apoyo al instrumento, que exige firmeza y estabilidad. Se compone por una plataforma y sus patas. La plataforma es de metal duro, tiene al medio una perforación que permite el centraje del aparato sobre la estaca de la estación. Las patas son de madera por su bajo coeficiente de dilatación y proporciona la rigidez necesaria sin aumentar el peso del trípode. En el extremo, las patas terminan en un regatón de fierro con un pedal sobre el cual se hace presión para enterrar la pata en el suelo.



Figura 25. Trípode

### Nivel:

Se usa para determinar diferencias de nivel con precisión a grandes distancias, debido a que con él se puede definir la línea de puntería por medio de un dispositivo preciso o exento de paralaje y con características de agrandar las divisiones y las cifras de la mira. La puntería se hace horizontal con ayuda de un nivel tubular, a fin de permitir la visual sobre un punto cualquiera alrededor del punto de estación del instrumento (ver Nivelación).



Figura 26. Nivel Automático.

### Teodolito:

El primer teodolito se construyó en 1787 por RAMSDEN. Se le denomina también Tránsito, porque puede transitar o girar  $180^\circ$  sobre su eje horizontal. Su función primordial es el de medir ángulos horizontales y verticales refiriéndose a un plano horizontal que pasa por el punto de observación. También puede medir distancias con la estadía y trazar alineamientos rectos sobre el terreno (ver Poligonación).



Figura 27. Teodolito

### Brújula:

Está compuesta por una aguja imantada completamente libre o apoyada en su centro de gravedad que siempre estará orientado en cualquier lugar de la tierra en la dirección de las líneas de fuerza magnética y ligeramente inclinada con respecto al plano horizontal. El ángulo formado con el plano horizontal se llama inclinación magnética. La mitad de la aguja que se dirige al Norte se le llama aguja Norte (N) y la otra mitad, que se dirige al Sur, se le llama aguja Sur (S). Ya que el polo magnético no es coincidente con el polo geográfico, el ángulo que resulta de dichos meridianos se llama declinación magnética del lugar. Dicha declinación será Oriental u Occidental según que la punta Norte se desvíe hacia el Este o el Oeste del meridiano geográfico.

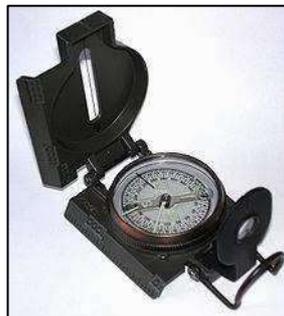


Figura 28. Brújula usada en topografía.

### Odómetro:

Consta de una rueda de un metro de circunferencia y sujeta a una horquilla con mango y en éste un contador automático que funciona mediante un pequeño juego de engranajes. Una vez recorrida la línea, se verá en el contador el número de vueltas dadas por la rueda, que será igual al número de metros recorridos. Se puede recorrer una línea recta, un camino, acequia, veredas, pistas o cualquier otra línea curva o irregular.

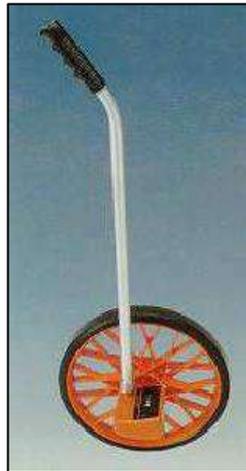


Figura 29. Odómetro.

### Estación total:

Se denomina estación total a un aparato electro-óptico utilizado en topografía, cuyo funcionamiento se apoya en la tecnología electrónica. Consiste en la incorporación de un distanciómetro y un microprocesador a un teodolito electrónico.

Algunas de las características que incorpora, y con las cuales no cuentan los teodolitos, son una pantalla alfanumérica de cristal líquido (LCD), leds de avisos, iluminación independiente de la luz solar, calculadora, distanciómetro, trackeador (seguidor de trayectoria) y en formato electrónico, lo cual permite utilizarla posteriormente en ordenadores personales. Vienen provistas de diversos programas sencillos que permiten, entre otras capacidades, el cálculo de coordenadas en campo, replanteo de puntos de manera sencilla y eficaz y cálculo de acimutes y distancias.

Vista como un teodolito, una estación total se compone de las mismas partes y funciones. El estacionamiento y verticalización son idénticos, aunque para la estación total se cuenta con niveles electrónicos que facilitan la tarea. Los tres ejes y sus errores asociados también están presentes: el de verticalidad, que con la doble compensación ve reducida su influencia sobre las lecturas horizontales, y los de colimación e inclinación del eje secundario, con el mismo comportamiento que en un teodolito clásico, salvo que el primero puede ser corregido por software, mientras que en el segundo la corrección debe realizarse por métodos mecánicos.

El instrumento realiza la medición de ángulos a partir de marcas realizadas en discos transparentes. Las lecturas de distancia se realizan mediante una onda electromagnética portadora (generalmente microondas o infrarrojos) con distintas frecuencias que rebota en un prisma ubicado en el punto a medir y regresa, tomando el instrumento el desfase entre las ondas. Algunas estaciones totales presentan la capacidad de medir "a sólido", lo que significa que no es necesario un prisma reflectante.

Este instrumento permite la obtención de coordenadas de puntos respecto a un sistema local o arbitrario, como también a sistemas definidos y materializados. Para la obtención de estas coordenadas el instrumento realiza una serie de lecturas y cálculos sobre ellas y demás datos suministrados por el operador. Las lecturas que se obtienen con este instrumento son las de ángulos verticales, horizontales y distancias. Otra particularidad de este instrumento es la posibilidad de incorporarle datos como coordenadas de puntos, códigos, correcciones de presión y temperatura, etc.

La precisión de las medidas es del orden de la diezmilésima de gradián en ángulos y de milímetros en distancias, pudiendo realizar medidas en puntos situados entre 2 y 5 kilómetros según el aparato y la cantidad de prismas usada. Para el óptimo desempeño de las Estaciones Totales es necesario que el equipo esté calibrado, para ello se debe dar mantenimiento y ajustes mediante el uso de un colimador.



Figura 30. Estación total

### Prisma:

Es un objeto circular formado por una serie de cristales que tienen la función de regresar la señal emitida por una estación total o teodolito.

La distancia del aparato al prisma es calculada en base al tiempo que tarda en ir y regresar al emisor (estación total o teodolito).

Los hay con diferentes constantes de corrección, dependiendo del tipo de prisma (modelo).

En sí es el sustituto de la mira que se utilizaba en los levantamientos topográficos anteriormente y te ayuda a realizar tu trabajo con mayor rapidez y precisión.



Figura 31. Prisma topográfico.

## GPS

Los topógrafos y cartógrafos figuran entre los primeros en aprovechar el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), ya que hizo aumentar considerablemente la productividad y produjo datos más precisos y fiables. Hoy en día, el GPS es parte vital de las actividades topográficas y cartográficas en todo el mundo.

Cuando lo utilizan profesionales cualificados, el GPS proporciona datos topográficos y cartográficos de la más alta precisión. La recopilación de datos basados en el GPS es mucho más rápida que las técnicas convencionales de topografía y cartografía, ya que reduce la cantidad de equipos y la mano de obra que se requiere. Un solo topógrafo puede ahora lograr en un día lo que antes le tomaba varias semanas a todo un equipo.

Desde montañas y ríos, hasta calles, edificios, cables y tuberías de los servicios públicos y otros recursos. Las superficies medidas con el GPS se pueden visualizar en mapas y en sistemas de información geográfica (SIG) que almacenan, manipulan y visualizan los datos geográficos referenciados.

Los gobiernos, las organizaciones científicas y las operaciones comerciales de todo el mundo utilizan la tecnología del GPS y los SIG para facilitar la toma oportuna de decisiones y el uso racional de los recursos. Toda organización u organismo que requiera información precisa sobre la ubicación de sus activos puede beneficiarse de la eficiencia y la productividad que proporciona el GPS.

A diferencia de las técnicas convencionales, la topografía mediante el GPS no está sometida a restricciones como la línea de visibilidad directa entre las estaciones

topográficas. Las estaciones se pueden desplazar a mayores distancias entre una y otra y pueden funcionar en cualquier lugar con buena vista del cielo, en vez de limitarse a cimas remotas, como se requería antes.

El GPS es especialmente útil en el levantamiento de costas y vías fluviales, donde hay pocos puntos de referencia en tierra. Los buques de levantamiento combinan las posiciones del GPS con los sondeos de profundidad con sonar para elaborar las cartas náuticas que indican a los navegantes los cambios de profundidad del agua y los peligros que yacen bajo el agua. Los constructores de puentes y plataformas petrolíferas también dependen del GPS para levantamientos hidrográficos precisos.

Los agrimensores y cartógrafos pueden llevar los sistemas del GPS en una mochila o montarlos en vehículos para recopilar los datos con precisión y rapidez. Algunos de estos sistemas se comunican de forma inalámbrica con receptores de referencia para lograr mejoras sin precedentes en la productividad de forma continua, en tiempo real y con precisión centimétrica.

Para lograr el máximo nivel de precisión, la mayoría de los receptores de categoría topográfica utilizan dos frecuencias de radio GPS: L1 y L2. En la actualidad, no hay ninguna señal civil en pleno funcionamiento en la L2, de modo que estos receptores aprovechan una señal militar L2 usando técnicas "sin código."

El actual programa de modernización del GPS está añadiendo una señal civil especializada L2 con soporte de posicionamiento de alta precisión sin el uso de señales militares. El programa del GPS también está añadiendo una tercera señal civil en la frecuencia L5 que mejorará aún más el rendimiento. Después de 2020, el gobierno dejará de apoyar el acceso sin código a las señales militares del GPS.



Figura 32. GPS topográfico.