



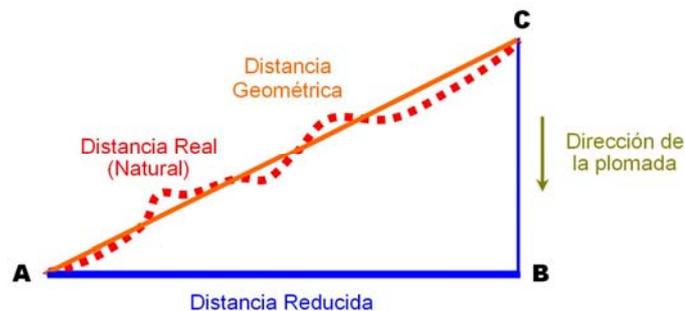
MÉTODOS TOPOGRÁFICOS

1. INTRODUCCIÓN.....	3
1.1. DISTANCIAS.....	3
1.2. COORDENADAS.....	3
2. MÉTODOS TOPOGRÁFICOS.....	4
2.1. MÉTODOS PLANIMÉTRICOS.....	4
2.2. MÉTODOS ALTIMÉTRICOS.....	5
3. MÉTODOS PLANIMÉTRICOS.....	7
3.1. MÉTODO DE COORDENADAS CARTESIANAS.....	7
3.2. MÉTODOS BASADOS EN MEDIDAS ANGULARES.....	8
3.2.1 <i>Método de triangulación</i>	8
3.2.1.1 Diseño y utilidad de la triangulación.....	9
3.2.2 <i>Método de intersección</i>	9
3.2.2.1 Intersección directa.....	9
3.2.2.1.1 Utilidad del método.....	11
3.2.2.2 Intersección inversa.....	11
3.3. MÉTODOS BASADOS EN LA MEDIDA DE ANGULOS Y DISTANCIAS.....	13
3.3.1 <i>Método de radiación</i>	13
3.3.1.1 Utilidad del método.....	14
3.3.1.2 Procedimiento.....	14
3.3.2 <i>Método de la poligonal o del itinerario</i>	16
3.3.2.1 Diseño y utilidad del método.....	17
3.3.2.2 Itinerario encuadrado.....	17
3.3.2.3 Cerrado.....	17
3.3.2.4 Colgado.....	18
3.3.2.5 Orientado.....	18
3.3.2.6 Diseño y utilidad del método.....	19
4. MÉTODOS ALTIMÉTRICOS.....	20
4.1. NIVELACIÓN BAROMÉTRICA.....	21
4.2. NIVELACIÓN TRIGONOMÉTRICA O POR PENDIENTES (ALTURAS).....	21
4.2.1 <i>Casos posibles de nivelación trigonométrica</i>	23
4.3. NIVELACIÓN GEOMÉTRICA.....	24
4.3.1 <i>Nivelación simple</i>	25
4.3.2 <i>Nivelación compuesta (o itinerario altimétrico)</i>	25
4.3.3 <i>Nivelación geométrica por punto extremo</i>	27
4.3.3.1 Terreno ascendente.....	28
4.3.3.2 Terreno descendente.....	28
4.3.4 <i>Nivelación geométrica por punto medio (o por estación central)</i>	29
4.3.5 <i>Nivelación geométrica por estaciones recíprocas</i>	30
4.3.6 <i>Nivelación geométrica radial</i>	32
4.3.7 <i>Nivelación compuesta (o itinerario altimétrico)</i>	32
5. MARCACIÓN DE UNA CURVA DE NIVEL.....	34
5.1. DESARROLLO.....	34
5.2. PASOS A SEGUIR PARA LA MARCACIÓN DE UNA CURVA DE NIVEL.....	34
6. FASES DE UN PROYECTO: TRABAJOS TOPOGRÁFICOS.....	35
6.1. ESTUDIO PREVIO.....	35
6.2. REDACCIÓN DEL ANTEPROYECTO.....	35
6.3. REDACCIÓN DEL PROYECTO.....	35
6.4. EJECUCIÓN DE LA OBRA.....	35
7. APLICACIONES DE LA TOPOGRAFÍA Y LA FOTOGRAMETRÍA.....	37
8. TRABAJOS TOPOGRAFICOS EN UNA PLANTA INDUSTRIAL.....	38

1. INTRODUCCIÓN.

1.1. DISTANCIAS.

- Distancia natural:** Distancia que existe entre dos puntos sobre el terreno.
- Distancia geométrica:** Distancia que existe entre dos puntos medida en línea recta.
- Distancia reducida:** Es la proyección de esa distancia sobre el plano horizontal.



1.2. COORDENADAS.

- Tipos de coordenadas: Coordenadas cartesianas y coordenadas polares.
- Tipos de mediciones: A los ángulos horizontales se les denomina por extensión como ángulos acimutales, aunque realmente son ángulos o lecturas acimutales cuando se orienta hacia el norte geográfico; si se orientan hacia el norte magnético se obtendrán rumbos y si se orienta hacia un norte propio se obtendrán orientaciones. Una lectura acimutal no implica que esté o no orientado hacia el norte geográfico. Para los ángulos verticales hablamos de los ángulos cenitales porque son los que mide el aparato.

2. MÉTODOS TOPOGRÁFICOS.

La finalidad de todo trabajo topográfico es la observación en campo de una serie de puntos que permita posteriormente en gabinete la obtención de sus coordenadas para:

- Hacer una representación gráfica de una zona.
- Conocer su geometría.
- Conocer su altimetría.
- Calcular una superficie, longitud, desnivel,...

En todos los trabajos se busca una precisión determinada. Para la elaboración de un plano, la precisión planimétrica y la elección de los elementos del terreno la marca la escala de la representación y el límite de percepción visual de 0,2 mm. Para la altimétrica, los puntos levantados están condicionados por la equidistancia de las curvas de nivel.

Para llegar a obtener las coordenadas de un punto, es necesario apoyarse en otros previamente conocidos. Los errores de éstos se van a transmitir a los detalles tomados desde ellos, y por eso debe establecerse una *metodología* de trabajo de manera que se tengan comprobaciones de la bondad de las medidas.

En cuanto al sistema de coordenadas utilizado, puede ser un sistema general (coordenadas U.T.M. por ejemplo) o en un sistema local. Para trabajos oficiales e importantes es muy común el empleo de coordenadas generales. Los puntos de los que se parte son vértices geodésicos que constituyen la red de puntos con coordenadas U.T.M. distribuidos por todo el territorio nacional. Para levantamientos pequeños, como pueden ser trabajos de deslinde, medidas de superficies... es más común el uso de coordenadas locales.

Los metodos topograficos son diversos sistemas de proceder para en función de los trabajos de campo y gabinete tener una toma de datos correctos.

Consiste en estacionar un instrumento en un punto conocido, hacer estación, de la cual tenemos coordenadas (x,y,z) conocidas por lo que mediante ángulos y distancias tomo los datos.

Si sólo se hace planimetría se necesitan x,y; altimetría z; taquimetría x,y,z.

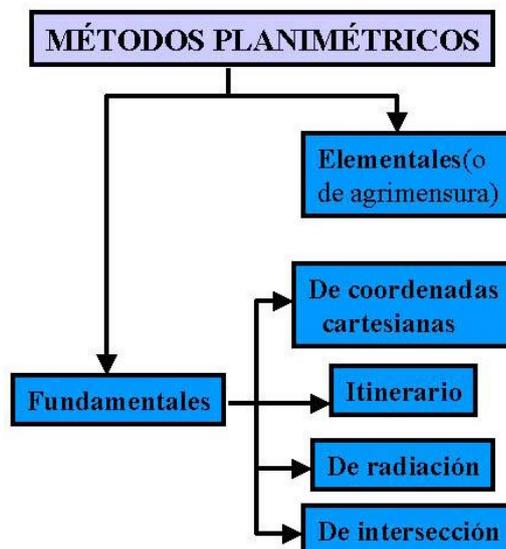
2.1. *Métodos planimétricos.*

Tienen por objeto estudiar las normas y procedimientos para efectuar la planimetría de un terreno; se basan en la medida de ángulos (acimutales) y distancias en horizontal.

En planimetría los métodos son:

- a. **Radiación:** permite relacionar todos los puntos del terreno con un punto de coordenadas conocidas.
- b. **Poligonal o itinerario:** Permite relacionar puntos de estación o itinerario.
- c. **Triangulación:** Permite relacionar puntos a mayores distancias.
- d. **Redes:** Primero se hace una red de triángulos no muy grandes donde se tienen una serie de vértices (red de triangulación o trigonométrica), después se hace una segunda red que marcaría la poligonal (red topográfica o de poligonación) y finalmente una tercera red que sirve para tomar los datos (red de relleno). Así se consiguen los errores mínimos y se aproximan las coordenadas

a la forma de trabajo haciendo una triangulación con menor número de errores y con las menos estaciones posibles.



Si se quiere levantar un plano de una amplia zona con la red trigonométrica, se fijan unos puntos y se calculan sus coordenadas en forma de triángulos.

Se miden todos los ángulos de los triángulos y con un lado se tendrán todos los datos, es decir con métodos angulares y una medida se podrá dar valores xy a todos los demás triángulos.

Los triángulos tienen lados grandes ya que sirven para cubrir la mayor parte del terreno. El problema es que habrá mayor error cuanto mayor sea el número de triángulos.

La red topográfica se observa con los métodos de poligonal. Una vez conocidas las coordenadas de los vértices de los triángulos se formarán polígonos en la zona teniendo los puntos con sus coordenadas xy .

2.2. Métodos altimétricos.

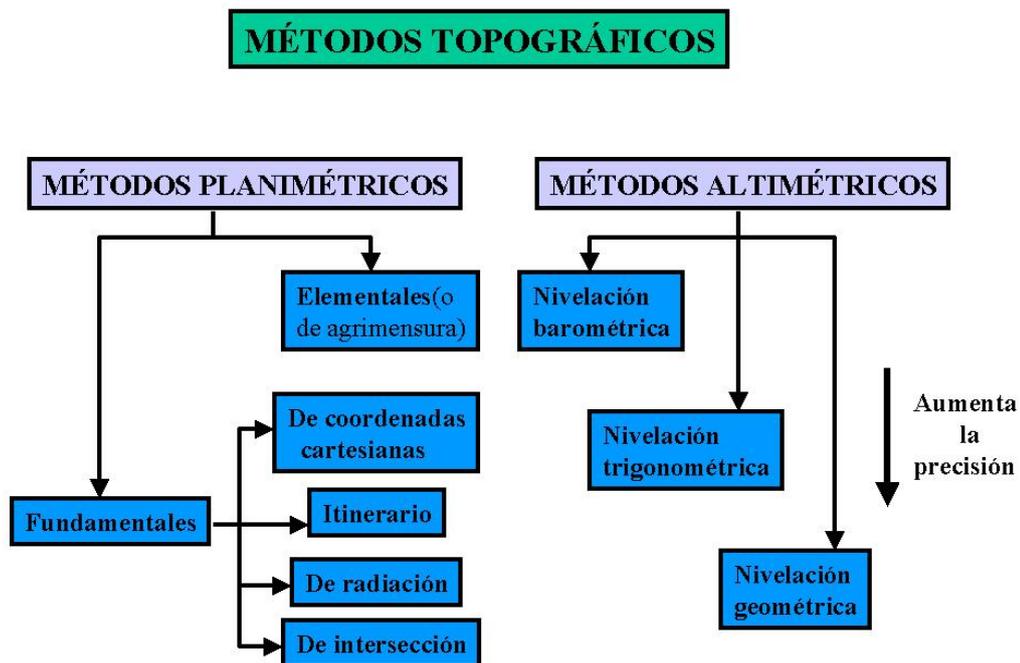
La altimetría tiene por objeto estudiar cotas, altitudes y desniveles. En altimetría los métodos son:

- a) *Nivelación barométrica*: Son los menos precisos pero los métodos más rápidos.
- b) *Nivelación trigonométrica*: Permite ver la diferencia de altitud en función de medidas angulares.
- c) *Nivelación geométrica*: Permite ver la diferencia de altitud en función de visuales horizontales.

Una clasificación de los métodos topográficos en función del instrumental empleado es la siguiente:

- Métodos basados en medidas angulares:

- Triangulación.
- Intersecciones (directa e inversa).
- Métodos basados en la medida de ángulos y distancias.
 - Poligonal o itinerario.
 - Radiación.
 - Redes: de triangulación o trigonometricas, topograficas o de poligonacion, y de relleno.
- Métodos de medida de desniveles.
 - Nivelación barométrica.
 - Nivelación trigonométrica.
 - Nivelación geométrica.



3. MÉTODOS PLANIMÉTRICOS.

3.1. Método de coordenadas cartesianas.

Se elige un punto "O" en el interior del levantamiento topográfico.

El eje YY es la meridiana del lugar (por datos geodésicos), o bien un eje que convenga.

Cada punto en el terreno se representa por un punto en el plano.

(d, α) coordenadas polares

$$x_A = d \sin \alpha$$

$$y_B = d \cos \alpha$$

(coordenadas cartesianas)

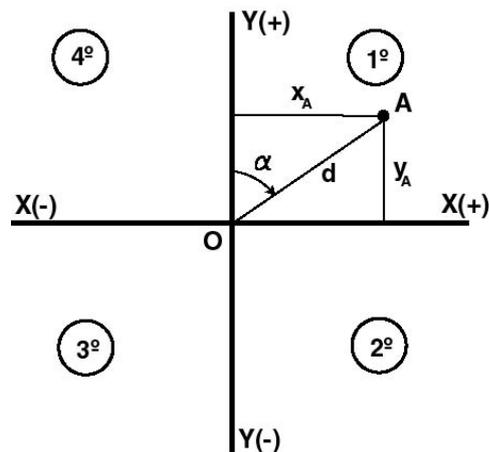


Fig. 1 Coordenadas absolutas (respecto a "O")

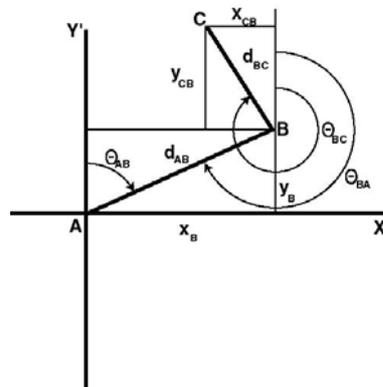


Fig. 2 Coordenadas relativas (respecto a "A")

$$g_B^A = g_A^B + 200^g$$

Al situar un punto en el plano se cometen dos errores: uno el derivado de los errores de campo y otro de dibujo. Por ello las coordenadas se deducen numéricamente de los datos de campo. Cada punto se transporta al plano con independencia del resto, de este modo no se transmiten los errores del dibujo a los sucesivos puntos.

3.2. Metodos basados en medidas angulares.

3.2.1 Metodo de triangulación.

Consiste en determinar las coordenadas de una serie de puntos distribuidos en triángulos partiendo de dos conocidos, que definen la *base*, y midiendo todos los ángulos de los triángulos:

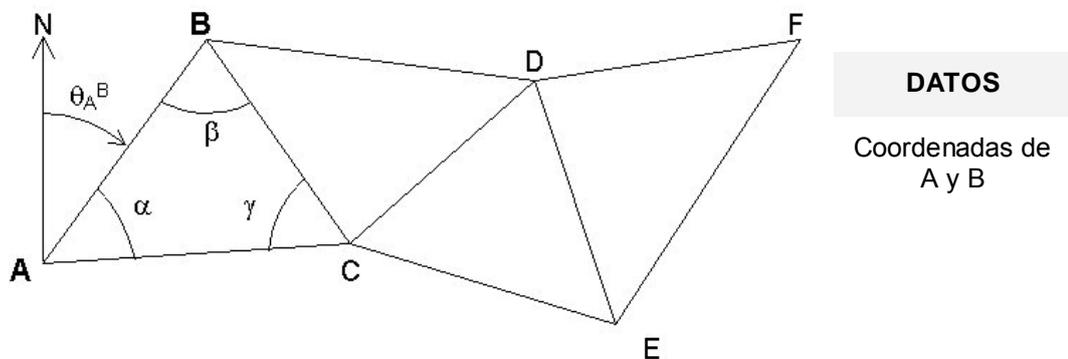


Fig. 3 Metodo de triangulación

Si A y B son dos puntos de coordenadas conocidas (AB es la **base**), para calcular las coordenadas de C basta medir los ángulos α , β y γ . Estos ángulos se determinan estacionando en A, B y C, y tomando las lecturas horizontales a los otros vértices.

Los cálculos que se hacen son los siguientes:

1- Comprobar el error angular de las medidas. El error es la diferencia entre 200^g y la suma de los tres ángulos medidos:

$$e = 200^g - (\alpha + \beta + \gamma); \text{compensación} = - \text{error}$$

Se compensa a partes iguales en los ángulos medidos.

2- Cálculo de las distancias desde los dos puntos conocidos (A y B) hasta el punto del que se quieren determinar las coordenadas:

Se hallan resolviendo el triángulo ABC del que se conocen los ángulos y un lado.

3- Cálculo de las coordenadas de C:

Con el acimut y la distancia desde A o desde B se obtienen las coordenadas de C.

Para hallar las coordenadas de los demás puntos se operaría del mismo modo: en el siguiente triángulo ya se conocen dos puntos (la base es ahora BC) y se han medido los ángulos.

Cuando se termina la triangulación en dos puntos de coordenadas conocidas hay que hacer otras compensaciones ajustando la distancia y acimut entre esos puntos calculados y conocidos y haciendo que coincidan.

La triangulación es un método básicamente planimétrico, pero si además de medir ángulos horizontales se miden también verticales, se podrían tener cotas. Si las distancias entre los puntos son grandes, a los desniveles habría que aplicarle correcciones por el efecto de la esfericidad y la refracción.

3.2.1.1 Diseño y utilidad de la triangulación.

Puesto que en este método hay que medir los ángulos de los triángulos, es necesario que haya visibilidad desde cada vértice de un triángulo a los otros dos. Esta condición se puede estudiar sobre cartografía general haciendo perfiles topográficos y comprobando que no hay obstáculos en las visuales.

La utilidad del método es distribuir puntos con coordenadas conocidas por una zona. Esos puntos pueden servir para tomar los detalles que se quieran representar en un plano o como apoyo para otros métodos. A y B pueden ser dos vértices geodésicos, y en ese caso se podrían tener coordenadas U.T.M. de los demás puntos.

3.2.2 Método de intersección.

Las intersecciones son métodos en los que para determinar la posición de un punto sólo se requiere la medida de ángulos. Si las observaciones se hacen desde puntos de coordenadas conocidas se llaman intersecciones *directas*, y si se hacen desde el punto cuyas coordenadas se quieren determinar, se llaman *inversas*.

Si además de medir ángulos horizontales se miden los verticales, se puede calcular la coordenada Z.

3.2.2.1 Intersección directa.

El método consiste en partir de un lado **AB** de longitud y acimut conocidos. Se estaciona en A y B midiendo α y β con la mayor precisión posible.

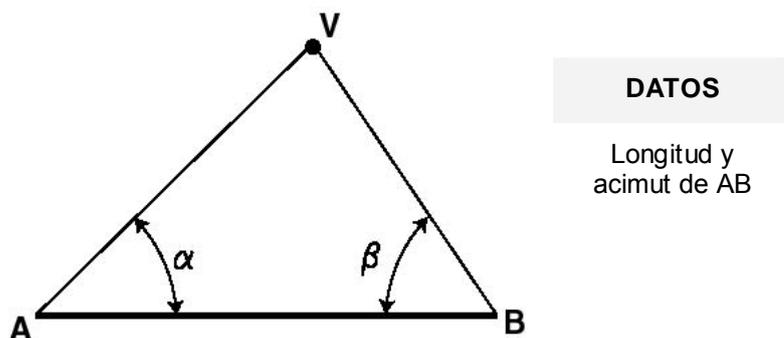


Fig. 4 Intersección directa

Así se determina el punto V que se pretende levantar

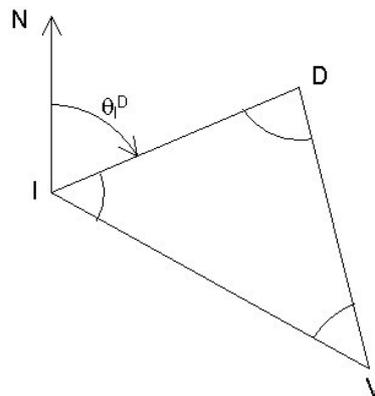


Fig. 5 Intersección directa

En la intersección simple se designan como D e I a los puntos de coordenadas conocidas según queden a la derecha o izquierda del punto V que se quiere calcular.

El triángulo DVI queda definido porque se conoce la base (DI) y dos ángulos.

En la intersección directa simple no se tiene ninguna comprobación de las medidas. Es más aconsejable el método de intersección directa múltiple: medir los ángulos desde tres o más puntos conocidos.

- ◆ Con apoyo en otras referencias

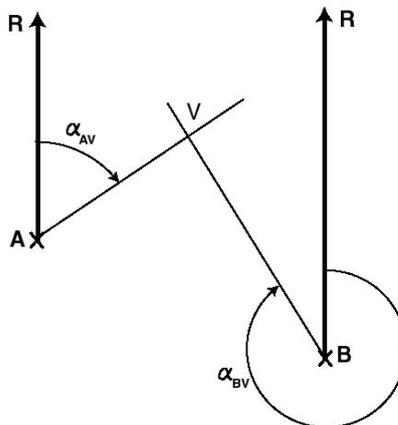


Fig. 6 Intersección directa con apoyo en otras referencias

- 1) La intersección directa es más precisa, Por ello se utiliza en triangulaciones geodésicas y topográficas.
- 2) Los puntos (vértices) así determinados sirven de apoyo para utilizar otros métodos menos precisos.
- 3) AV y BV constituyen la base para sucesivos trabajos.

3.2.2.1.1 Utilidad del método.

Las intersecciones han sido muy empleadas hasta hace poco tiempo puesto que la medida de ángulos era mucho más precisa que la medida de distancias. Siguen usándose cuando no se dispone de instrumentos de gran alcance en la medida de distancias.

En general sirven para distribuir una serie de puntos para ser utilizados en trabajos posteriores, como punto de partida de otros métodos.

Las intersecciones directas se utilizan para dar coordenadas a puntos inaccesibles, como torres, veletas, ... También se usan en control de deformaciones, por ejemplo en muros de presas. Desde unas bases perfectamente definidas se hacen las medidas angulares a señales de puntería, y se calculan las coordenadas de éstas. Comparándolas con las obtenidas en otro momento se ven los movimientos del muro.

3.2.2.2 Intersección inversa.

En la intersección inversa las observaciones angulares se hacen desde el punto P cuyas coordenadas se quieren determinar. En la intersección simple se toman las lecturas horizontales a tres puntos de coordenadas conocidas, que son los mínimos que se necesitan para resolver la geometría. En la intersección múltiple se hacen las medidas a más de tres puntos, y es un método más aconsejable para hacer comprobaciones.

Solución de la intersección inversa simple:

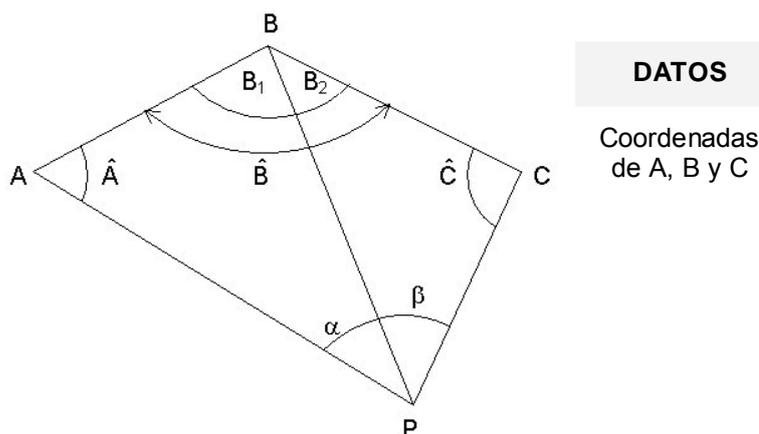


Fig. 7 Intersección inversa simple

Datos de partida: coordenadas de A, B y C

Observaciones: desde P se toman las lecturas horizontales a A, B y C

$$\alpha = L_P^B - L_P^A$$

$$\beta = L_P^C - L_P^B$$

La solución gráfica es la intersección del arco capaz de AB bajo α y el arco capaz de BC bajo β

La solución analítica consiste en calcular la distancia reducida y el acimut desde A, B o C. Para ello hay que resolver los triángulos ABP o BCP. De esos dos triángulos se conoce un ángulo y un lado, y se buscará un tercer dato:

$$\text{Triángulo ABP} \quad AB = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}$$

$$\hat{P} = \alpha$$

$$\text{Triángulo BCP} \quad BC = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}$$

$$\hat{P} = \beta$$

Para calcular los ángulos en A y C, se buscarán dos ecuaciones donde aparezcan esas incógnitas:

- 1ª ecuación. Se establece al igualar el lado BP de los triángulos ABP y BCP

$$\text{Triángulo ABP:} \quad \frac{BP}{\text{sen } \hat{A}} = \frac{AB}{\text{sen } \alpha} \quad BP = \frac{AB \cdot \text{sen } \hat{A}}{\text{sen } \alpha}$$

$$\text{Triángulo BCP} \quad \frac{BP}{\text{sen } \hat{C}} = \frac{BC}{\text{sen } \beta} \quad BP = \frac{BC \cdot \text{sen } \hat{C}}{\text{sen } \beta}$$

Igualando BP queda:

$$\frac{AB \cdot \text{sen } \hat{A}}{\text{sen } \alpha} = \frac{BC \cdot \text{sen } \hat{C}}{\text{sen } \beta}$$

Y agrupando los valores conocidos a un lado de la igualdad:

$$\frac{\text{sen } \hat{A}}{\text{sen } \hat{C}} = \frac{BC \cdot \text{sen } \alpha}{AB \cdot \text{sen } \beta} = K \text{ (valor conocido)}$$

- 2ª ecuación. Se establece al conocer el valor de la suma de los ángulos interiores del polígono ABCP:

$$S_i = (n - 2) * 200^g$$

$$\hat{A} + \hat{C} + \hat{B} + \alpha + \beta = 400^g; \quad \hat{B} = \theta_B^A - \theta_B^C \text{ (acimutes conocidos por las coordenadas)}$$

$$\hat{A} + \hat{C} = 400^g - (\hat{B} + \alpha + \beta) = R \text{ (valor conocido)}$$

Despejando \hat{C} en la segunda ecuación y sustituyendo en la primera se tiene:

$$\left. \begin{aligned} \hat{C} &= R - \hat{A} \\ \frac{\text{sen } \hat{A}}{\text{sen } \hat{C}} &= K \end{aligned} \right\}$$

$$\begin{aligned}\operatorname{sen} \hat{A} &= K * \operatorname{sen} \hat{C} = K * \operatorname{sen}(R - \hat{A}) = K * (\operatorname{sen} R * \cos \hat{A} - \cos R * \operatorname{sen} \hat{A}) = \\ &= K * \operatorname{sen} R * \cos \hat{A} - K * \cos R * \operatorname{sen} \hat{A}\end{aligned}$$

$$\operatorname{sen} \hat{A} (1 + K * \cos R) = K * \operatorname{sen} R * \cos \hat{A}$$

$$\operatorname{tg} \hat{A} = \frac{\operatorname{sen} \hat{A}}{\cos \hat{A}} = \frac{K * \operatorname{sen} R}{1 + K * \cos R}$$

Así se tendrá el valor de \hat{A} , y sustituyéndolo en la ecuación 2ª, el de \hat{C} .

Con esos ángulos, los triángulos ABP o BCP quedan determinados y se pueden calcular las coordenadas de P.

3.3. *Metodos basados en la medida de angulos y distancias.*

3.3.1 Método de radiación.

El método de **radiación** es uno de los métodos de levantamiento de poligonales cerradas, y es el más simple en el que se emplea el teodolito y la cinta.

Consiste en situar el aparato topográfico en el punto O de coordenadas conocidas, interior al conjunto ABC... que se han de levantar, y tras orientar el instrumento se determinan los acimutes y las longitudes OA, OB...

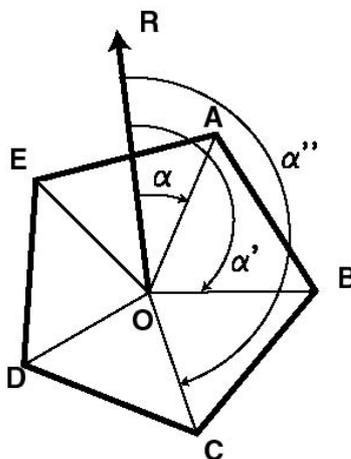


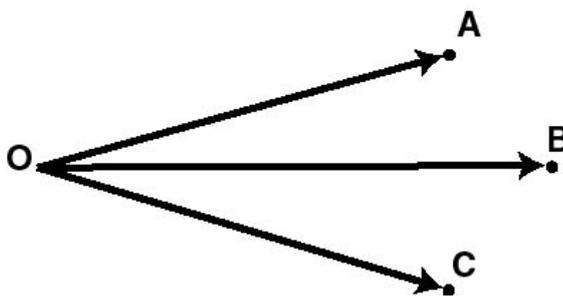
Fig. 8 Método de radiación

De este modo se determinan las coordenadas polares de los puntos.

Los puntos se trasladan al plano con transportador y regla, o previa determinación de coordenadas cartesianas:

$$x_A = d \operatorname{sen} \alpha$$

$$y_A = d \operatorname{cos} \alpha$$



Si además se miden los desniveles desde A a los puntos radiados, también se puede calcular la cota.

Los instrumentos utilizados en la radiación deben permitir la medida de ángulos y distancias: taquímetro y estadía (en desuso), o goniómetro y medida electromagnética de distancias.

3.3.1.1 Utilidad del método.

La radiación se utiliza para conocer los detalles del terreno en las proximidades de un punto conocido. Muchas veces el punto conocido es una estación de la poligonal, y la orientación angular se hará a la base anterior o a la siguiente.

Es un método adecuado para hacer un levantamiento de una zona con visibilidad desde un punto. Se puede establecer un sistema de coordenadas local teniendo la precaución de elegir unas coordenadas para la estación desde la que se radia suficientemente grandes para que no tener coordenadas negativas de los puntos levantados. A veces se intenta situar el eje Y próximo al Norte, operación que se puede hacer con la ayuda de una brújula.

La radiación es, en muchas ocasiones, un método complementario de la poligonal.

Se utiliza en trabajos de relleno junto a otros métodos. Es un método rápido, pero no se debe emplear cuando los puntos A, B, C... están muy próximos entre sí, y alejados del punto "O" de estación.

3.3.1.2 Procedimiento.

1. Hacer un reconocimiento de la zona a levantar, materializando los vértices que constituyen la poligonal cerrada.
2. Situar dentro de la zona a levantar un punto (estación) desde el que puedan verse todos los vértices del polígono.
3. Estacionar el aparato.
4. Colocar la escala angular horizontal en 0° (0^g) con respecto al norte (o dirección de referencia).
5. Se miden los acimutes de cada uno de los vértices tal como lo indica la figura

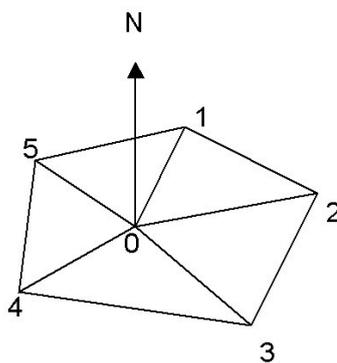


Fig. 9 Método de radiación

Recordar que en todo polígono se verifica:

$S_i = (n-2) \cdot 200^g$	N : n° lados polígono
$S_e = 400^g$	S_i : Suma de ángulos interiores
$S_{i+e} = n \cdot 400^g$	S_e : Suma de ángulos exteriores
	S_i : Suma de ángulos interiores y exteriores

6. Desde el punto 0 se miden las distancias 01, 02, 03,
7. Es necesario volver a leer el acimut hacia el primer punto 1, para comprobar que el aparato no se ha movido ($\mathcal{G}_0^{1'}$).

Error de cierre: $e = \mathcal{G}_0^1 - \mathcal{G}_0^{1'}$

Este error (e) no debe ser mayor de la aproximación del aparato. Si es mayor hay que repetir las lecturas de todos los acimutes.

8. En la libreta de campo se anotan los datos tal como se indica.

ESTACION	Punto Observado	Lectura Acimutal (especificar unidad)	HILOS (mm)			Lectura Vertical (especificar unidad)
			Inferior	Central	Superior	
0	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	1					

Tabla I Libreta de campo para radiación

9. A continuación se procede a calcular las coordenadas de los vértices de la radiación.

10. Con las coordenadas calculadas se elige la escala adecuada y se elabora el plano. Finalmente en función de las coordenadas se calcula el área.

3.3.2 Método de la poligonal o del itinerario.

La finalidad de la poligonal es determinar las coordenadas de una serie de puntos, muchas veces a partir de las de otros cuya posición ya ha sido determinada por procedimientos más precisos.

Se define la poligonal como el contorno formado por tramos rectos que enlazan los puntos a levantar, que serán las bases o estaciones. Los tramos o ejes son los lados de la poligonal, la unión de bases consecutivas.

La observación consiste en medir las longitudes de los tramos y los ángulos horizontales entre ejes consecutivos.

Sean dos puntos A y B de coordenadas conocidas (vértices geodésicos, por ejemplo).

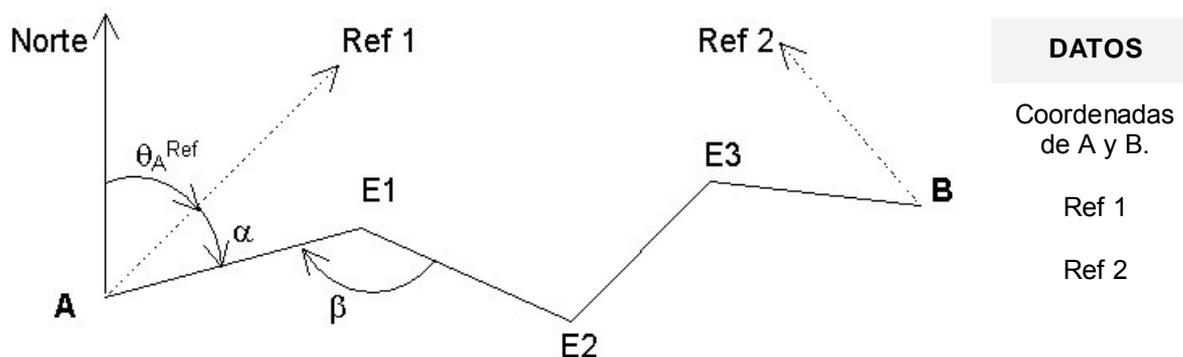


Fig. 10 Método de la poligonal o del itinerario

α es la diferencia de lecturas desde A a una referencia de la que se conocen las coordenadas, y al punto E1.

Con α y la distancia reducida AE1 se pueden calcular las coordenadas de E1. Conocidas éstas, y medidos β y E1E2, se podrían obtener las de E2.

Si además se miden los desniveles de los tramos, también se puede determinar la coordenada Z de las bases.

Los instrumentos utilizados deben permitir la medida de ángulos y distancias.

La medida de los ángulos horizontales puede ser orientada o sin orientar. En la observación orientada, los ángulos horizontales que se miden son directamente acimutes, lo que supone orientar en todas las bases a un punto del que se conozca el acimut. En la base A ese punto es la Ref 1, y al leer a E1, la lectura es el acimut. En E1 se orienta a A con el acimut recíproco ($\theta_{E1}^A = \theta_A^{E1} \pm 200^g$) y la lectura tomada a E2 es el acimut. Y así en todos los puntos.

Si la medida de los ángulos horizontales se hace sin orientar, se toman lecturas angulares, que posteriormente se transformarán en acimutes, conociendo la desorientación del aparato empleado.

Cuando la poligonal no puede terminar en un punto conocido, se puede cerrar en el punto de partida para poder comprobar las observaciones (itinerario cerrado).

Normalmente las bases de la poligonal van a ser puntos de partida para posteriores trabajos topográficos. Para tener mayor precisión en la medida de la longitud de los ejes, se mide ésta dos veces: al estacionar en cada base se mide a la siguiente y se repite la medida a la anterior.

En función de las características del instrumento, del número de tramos, y de la longitud de éstos, existe una tolerancia o error máximo permitido para los ángulos y las coordenadas.

El error de cierre de una poligonal es la discrepancia entre los valores obtenidos por la observación y los previamente conocidos. Es consecuencia de los errores cometidos en la medida de los ángulos y distancias.

3.3.2.1 Diseño y utilidad del método.

Las poligonales se hacen para llevar coordenadas a una zona, o para distribuir puntos conocidos que se utilizarán en posteriores trabajos de levantamiento o replanteo.

El diseño de la poligonal se hace de acuerdo a la finalidad y las posibilidades de los instrumentos.

Siempre se elegirán las estaciones de manera que haya visibilidad a la base anterior y siguiente y que la distancia sea tal que con el instrumento utilizado pueda medirse.

Si las bases se van a utilizar para tomar los detalles de un terreno del que se quiere elaborar un plano, se pondrán de manera que desde ellas se cubra toda la zona.

3.3.2.2 Itinerario encuadrado.

Se parte de A y se finaliza en E, ambos conocidos.

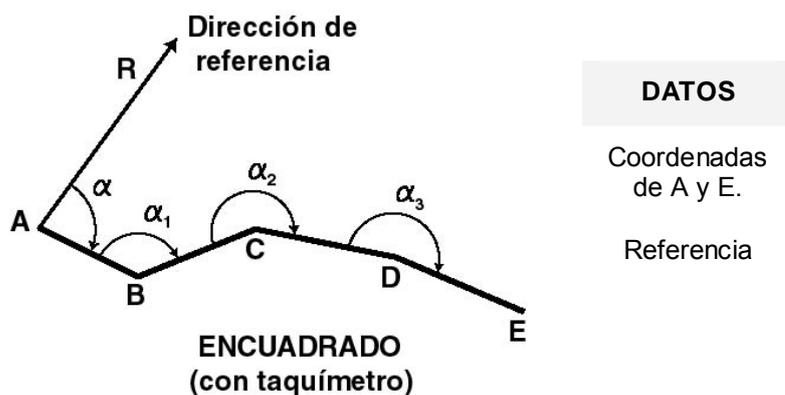
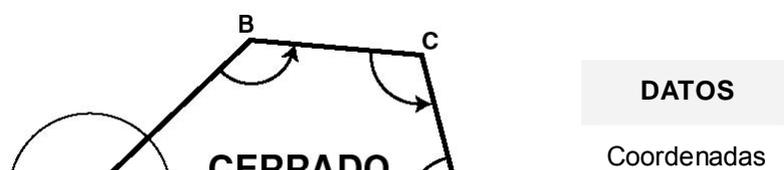


Fig. 11 Itinerario encuadrado

3.3.2.3 Cerrado

Se parte y finaliza en el mismo punto A.



de A.

Fig. 12 Itinerario cerrado

3.3.2.4 Colgado.

No termina en un punto conocido (se desconoce el punto de llegada).

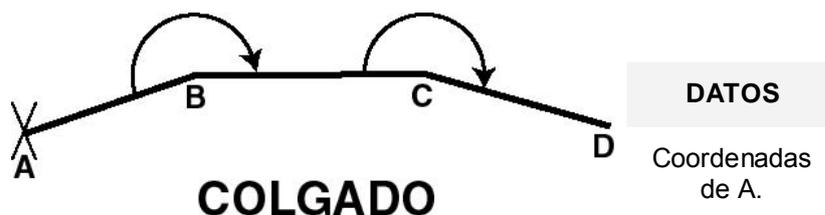


Fig. 13 Itinerario colgado

- No se debe dejar un itinerario colgado.

3.3.2.5 Orientado

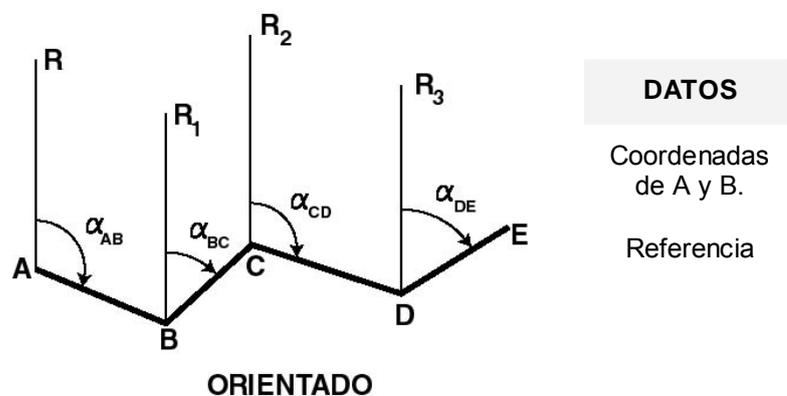


Fig. 14 Itinerario orientado

- El objetivo es enlazar mediante una poligonal los puntos que se desean determinar.
- Es preciso efectuar un reconocimiento previo del terreno: comprobar grado de visibilidad entre dos puntos, posibilidad de hacer estación en cada punto (terreno despejado, sin grandes pendientes, etc.)
- Para ello se efectúa una serie de radiaciones sucesivas, hallando así la longitud y dirección de cada uno de los lados (o ejes) que se forman al unir los puntos (o vértices) A, B, C, ...
- Con este método siempre se acumulan errores, por tanto, exige comprobación. No se debe dejar el itinerario colgado.

3.3.2.6 Diseño y utilidad del método

Las poligonales se hacen para llevar coordenadas a una zona, o para distribuir puntos conocidos que se utilizarán en posteriores trabajos de levantamiento o replanteo.

El diseño de la poligonal se hace de acuerdo a la finalidad y las posibilidades de los instrumentos.

Siempre se elegirán las estaciones de manera que haya visibilidad a la base anterior y siguiente y que la distancia sea tal que con el instrumento utilizado pueda medirse.

Si las bases se van a utilizar para tomar los detalles de un terreno del que se quiere elaborar un plano, se pondrán de manera que desde ellas se cubra toda la zona.

4. MÉTODOS ALTIMÉTRICOS.

La altimetría tiene por objeto el estudio de las normas y procedimientos que sirvan para representar el relieve de un terreno. En la práctica el problema altimétrico consiste en determinar el desnivel entre dos puntos.

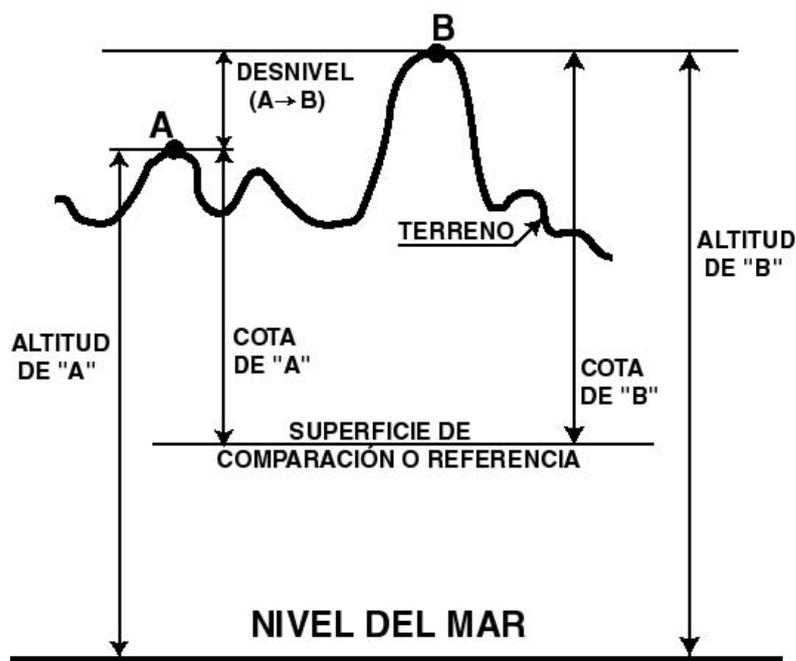


Fig. 15 Altimetría: definiciones

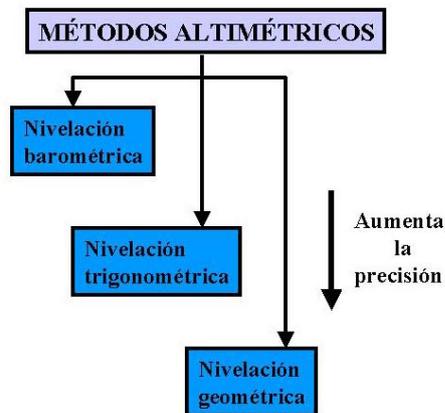
- **Altitud, cota y desnivel:** establecer las diferencias según la figura.
- **Nivelación:** conjunto de operaciones para calcular la diferencia de nivel entre dos o más puntos.

La nivelación tiene por objeto determinar diferencias de cota entre puntos del terreno. Se denomina **cota** a la distancia entre las superficies de nivel de referencia y la superficie de nivel que contienen al punto. Se llama **altitud** cuando está referida al nivel del mar. Para distancias pequeñas las superficies de nivel se consideran horizontales y paralelas. **Desnivel** es la diferencia de cota o altitud entre dos puntos.



Fig. 16 Placa

Los métodos de nivelación se basan en la determinación de desniveles entre puntos. La cota de un punto se determina sumando el desnivel medido desde un punto a la cota de éste.



4.1. Nivelación barométrica.

Es el método más impreciso. Se emplean barómetros o altímetros, de modo que el desnivel entre puntos se deduce por la variación de la columna de mercurio.

Es suficiente para reconocer el terreno en la realización de anteproyectos

4.2. Nivelación trigonométrica o por pendientes (alturas).

Los desniveles se determinan por procedimientos trigonométricos, mediante la medida de ángulos verticales y distancias.

Para medir el desnivel entre un punto A y otro B, se estaciona un instrumento en A y se mide el ángulo vertical, la distancia del aparato a la mira, la altura del aparato, y la altura de la mira:

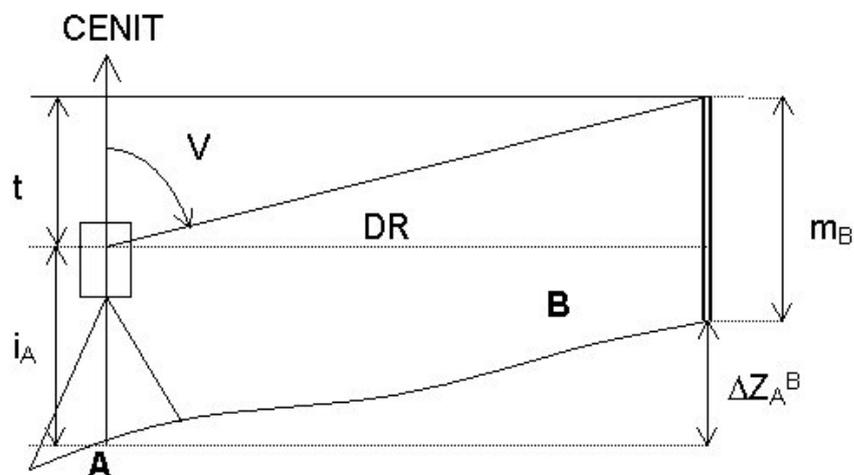


Fig. 17 Nivelación trigonométrica o por pendientes

El desnivel entre A y B es la distancia entre la horizontal que pasa por A y la que pasa por B. En la figura se observa que:

$$m_B + \Delta Z_A^B = i_A + t$$

$$\Delta Z_A^B = t + i_A - m_B \quad \left\{ \begin{array}{l} i_A : \text{altura del instrumento} \\ m_B : \text{altura a la que se hace puntería} \\ t = \frac{DR}{\text{tg}V} \end{array} \right.$$

$$Z_B = Z_A + \Delta Z_A^B$$

Cuando la visual es de depresión (el ángulo V es mayor de 100°), el término t es negativo.

Los instrumentos utilizados en la nivelación trigonométrica deben permitir la medida de distancias y de ángulos verticales.

En la nivelación trigonométrica se distingue entre la nivelación simple y compuesta.

En la **nivelación simple** se determina el desnivel mediante una única observación. Para ello deben darse dos condiciones:

- Debe existir visibilidad entre los puntos.
- La distancia que separa los puntos debe poderse medir con el instrumento. Si se trata de un taquímetro y estadía, la distancia será una limitación importante.

En la **nivelación compuesta**, la medida de desniveles entre puntos se hace ayudándose de puntos intermedios, necesarios porque alguna de las dos condiciones anteriores no se cumple. En el siguiente ejemplo se ven los pasos que se seguirían para determinar el desnivel entre A y B:

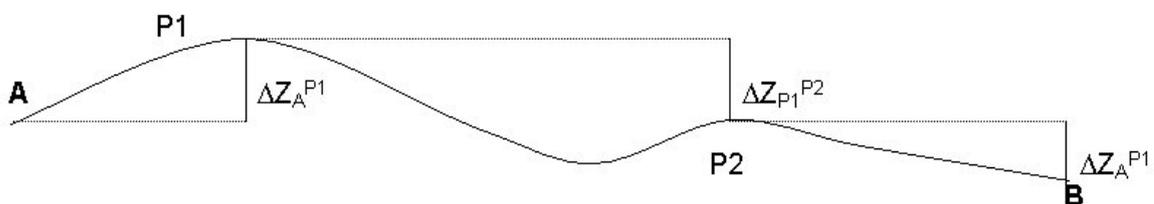


Fig. 18 Nivelación compuesta

El desnivel entre A y B es:

$$\Delta Z_A^B = \Delta Z_A^{P1} + \Delta Z_{P1}^{P2} + \Delta Z_{P2}^B$$

La nivelación trigonométrica va generalmente asociada a trabajos planimétricos: en pocas ocasiones se requieren cotas de puntos sin necesidad de conocer además su posición planimétrica.

Puede servir para dar cotas a las bases de la poligonal, que sería hacer un itinerario altimétrico.

Especialmente se utiliza para hallar las cotas de los puntos que se levantan por radiación.

El objetivo es obtener la diferencia de nivel entre los puntos A y B. Estacionando en A se mide el ángulo p y la distancia reducida $AC = d$

Se verifica que $BC = AC \operatorname{tg} p$

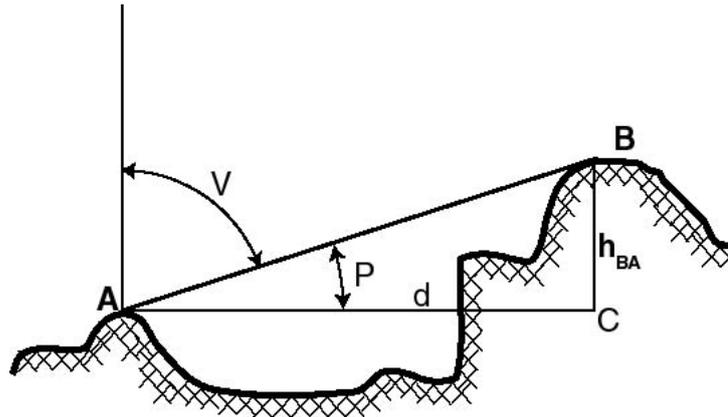


Fig. 19 Nivelación trigonométrica

$$V = \text{ángulo cenital} = 100^g - p$$

p = altura de horizonte (ángulo con la horizontal) o ángulo de pendiente

Diferencia de nivel del punto B respecto de A:

$$h_{BA} = d * \operatorname{tg} p = d * \operatorname{ctg} V$$

4.2.1 Casos posibles de nivelación trigonométrica:

a) El aparato se coloca a una distancia $CD = a$ sobre el terreno

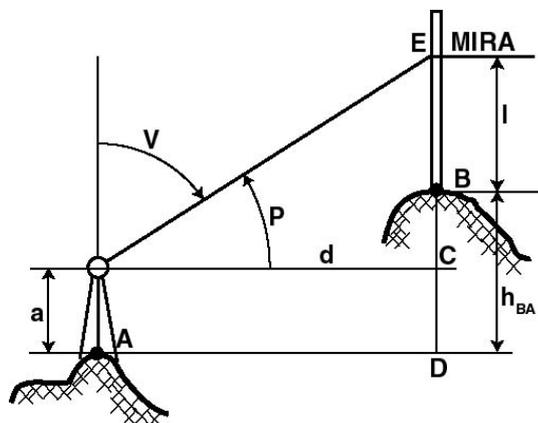


Fig. 20 Nivelación trigonométrica

b) La visual se dirige al punto E de la mira en vez de al punto B del terreno.

c) Terreno ascendente

$$\overline{DB} = \overline{EC} + \overline{CD} - \overline{EB}$$

$$h_{BA} = d \cdot c \operatorname{tg} V + a - l$$

d) Terreno descendente

Cuando:

$$\overline{DB} = \overline{CE} + \overline{EB} - \overline{CD}$$

$$h_{BA} = d \cdot \operatorname{tg} p + l - a$$

$$\left(V = 100^{\circ} \right) \quad \text{ó} \quad \left(p = 0^{\circ} \right) \Rightarrow \operatorname{tg} p = c \operatorname{tg} V = 0$$

Y por tanto, ambos puntos están al mismo nivel

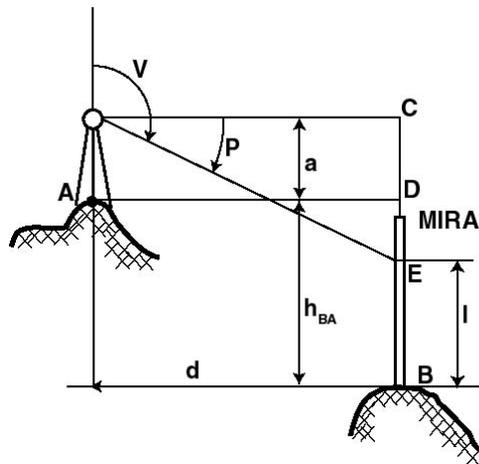


Fig. 21 Nivelación trigonométrica: terreno descendente

$$\overline{DB} = \overline{CE} + \overline{EB} - \overline{CD}$$

$$h_{BA} = d * \operatorname{tg} P + l - a$$

4.3. Nivelación geométrica

Consiste en determinar desniveles entre puntos mediante visuales horizontales. El fundamento es el siguiente:

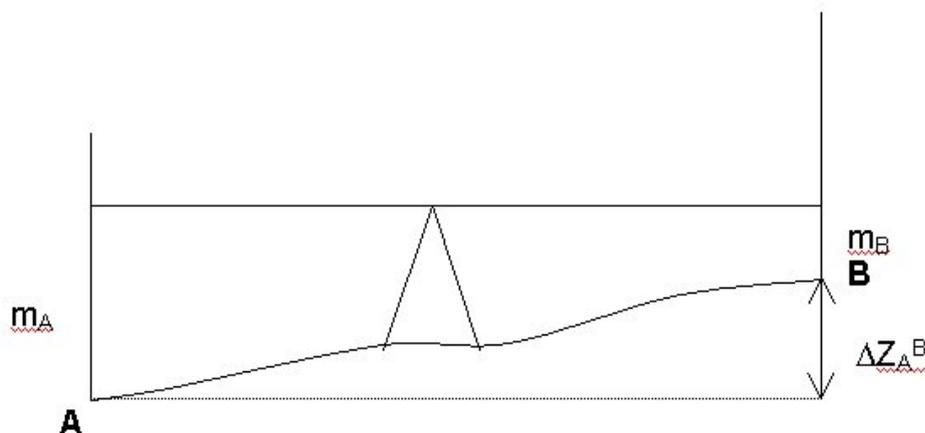


Fig. 22 Nivelación geométrica

Si se sitúan dos reglas verticales en los puntos entre los que se quiere medir el desnivel, y se traza una visual horizontal, se tiene la relación:

$$m_A = m_B + \Delta Z_A^B$$

Por tanto:

$$\Delta Z_A^B = m_A - m_B$$

El desnivel es la diferencia entre la altura a la que queda la visual horizontal en el punto de partida y en el punto final. A la lectura tomada en el punto de partida se le llama de **espalda**, y a la del punto al que se quiere medir el desnivel, de **frente**.

Esas altura se miden fácilmente si la regla es una mira (graduada en metros y fracciones de metro)

El instrumento topográfico que se utiliza en este método es el nivel o equialtímetro.

En la nivelación geométrica, se distingue entre nivelación simple y compuesta.

4.3.1 Nivelación simple

En la **nivelación simple** se determina el desnivel entre los puntos mediante una única posición del instrumento. Para ello deben darse dos condiciones:

- Que la diferencia de nivel entre los puntos sea tal que la longitud de la miras permita determinarla. Si se utilizan miras convencionales, de 4 m, ese es el máximo desnivel que se puede determinar mediante una medida: correspondería a tener en una lectura 0 en un punto y 4 en el otro.
- Que la distancia que los separa sea tal que las lecturas a las miras pueda realizarse.

4.3.2 Nivelación compuesta (o itinerario altimétrico)

La **nivelación compuesta** se hace cuando es necesario situar el nivel en varias posiciones porque alguna de las dos condiciones anteriores no se cumplen. Por tanto se emplea cuando la distancia entre los puntos cuyo desnivel se desea determinar es muy grande, o no son visibles entre sí, y también cuando la diferencia de nivel no puede salvarse mediante una sola estación. Por ejemplo, para medir el desnivel entre A y B, se necesita medir desniveles a puntos intermedios:

Cada tramo se mide por nivelación simple, utilizando el método del punto medio haciendo estación en una serie de puntos intermedios E_1, E_2, E_3, \dots situados entre A y D, puntos cuya diferencia de nivel se quiere medir.

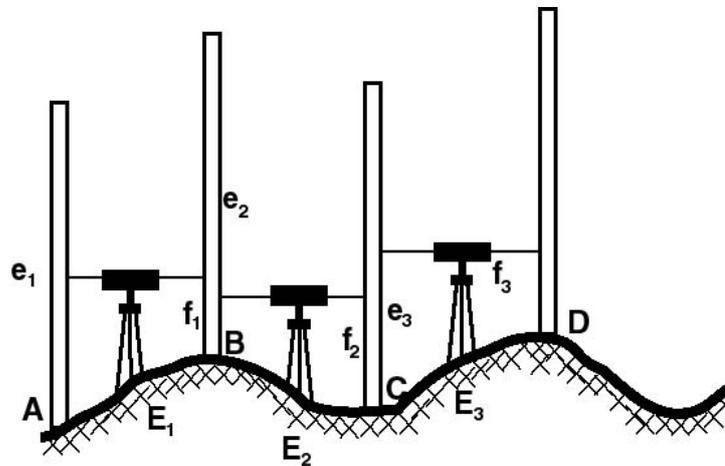


Fig. 23 Nivelación compuesta (itinerario altimétrico)

Una vez efectuadas las primeras lecturas de espalda " e_1 " y de frente " f_1 " se traslada el aparato a la estación E_2 manteniendo la mira en B y así sucesivamente:

$$\begin{aligned}\Delta Z_A^D &= \Delta Z_A^B + \Delta Z_B^C + \Delta Z_C^D \\ \Delta Z_A^B &= e_1 - f_1 \\ \Delta Z_B^C &= e_2 - f_2 \\ \Delta Z_C^D &= e_3 - f_3\end{aligned}$$

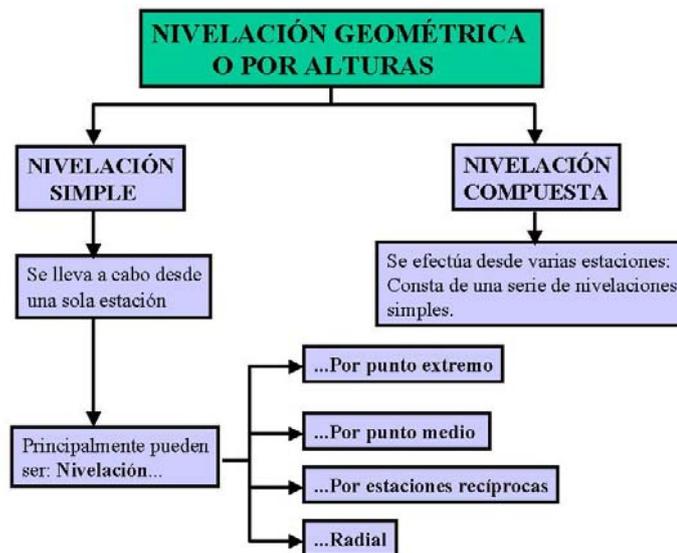
Por tanto:

$$\Delta Z_A^D = (e_1 + e_2 + e_3) - (f_1 + f_2 + f_3) \Rightarrow \Delta Z_A^D = \sum e - \sum f$$

La nivelación de puntos puede ser de dos maneras: "nivelación longitudinal o itinerario altimétrico" y "nivelación radial".

En el primer caso los puntos nivelados se van sucediendo y en el segundo están agrupados alrededor de uno que se toma como referencia: una única lectura de espalda sirve para calcular desniveles a varios puntos en los que se lee el frente.

La nivelación geométrica es más precisa que la trigonométrica. Se utiliza por tanto en cuando se requieren cotas con precisión. Por ejemplo, puede utilizarse para dar cotas a las bases de poligonal, para nivelar piezas de industria, para pruebas de carga en puentes,...



- a. Los métodos de nivelación por alturas son los de mayor precisión
- b. En la nivelación por alturas, la **visual es siempre horizontal** y se efectúa por medio de niveles o equalquímetros

4.3.3 Nivelación geométrica por punto extremo

Operaciones:

- a. En un extremo del tramo a nivelar se estaciona el nivel
- b. Se dirige una visual horizontal a la mira emplazada en el otro extremo (lectura de mira "I")

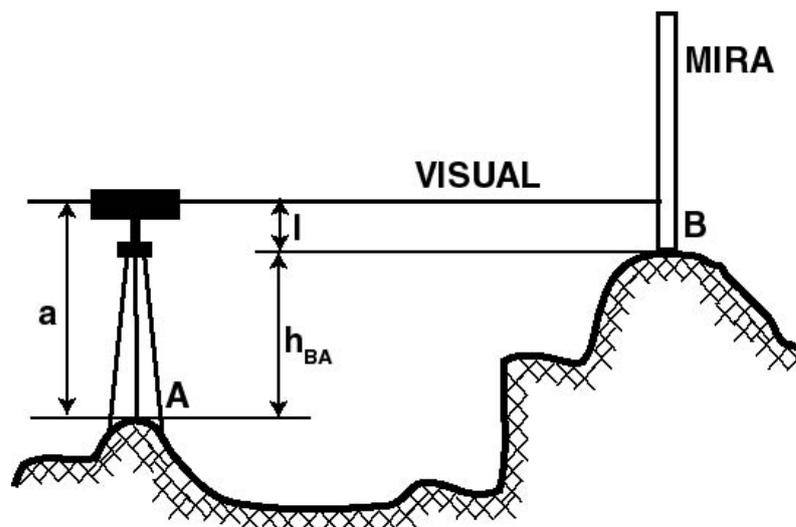


Fig. 24 Nivelación geométrica por punto extremo

4.3.3.1 Terreno ascendente

El máximo desnivel que puede medirse es cuando $l = 0$:

$$h_{BA} = a - l$$

Considerando $a_{MAX} = 1,60$ m para un operador, el desnivel máximo que se puede medir es

$$h_{BA} = 1,60 - 0 = 1,60 \text{ m}$$

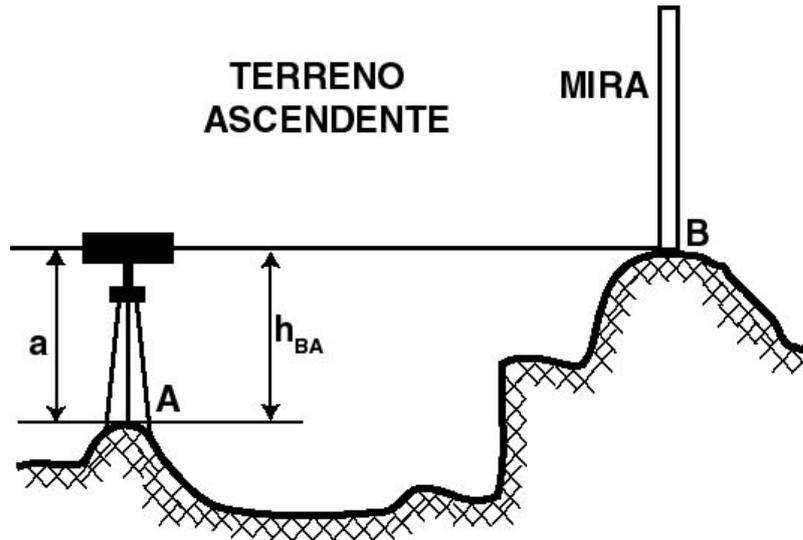


Fig. 25 Nivelación geométrica por punto extremo: Terreno ascendente

4.3.3.2 Terreno descendente.

Como $h_{BA} = a - l$:

$$h_{BA \text{ MIN}} = -2,6 \text{ m}$$

$$a = 1,40 \text{ m}$$

$$l = 4 \text{ m}$$

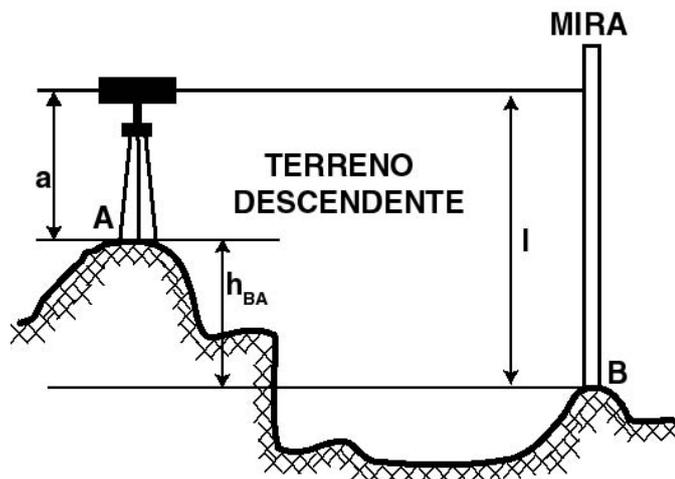


Fig. 26 Nivelación geométrica por punto extremo: Terreno descendente

4.3.4 Nivelación geométrica por punto medio (o por estación central).

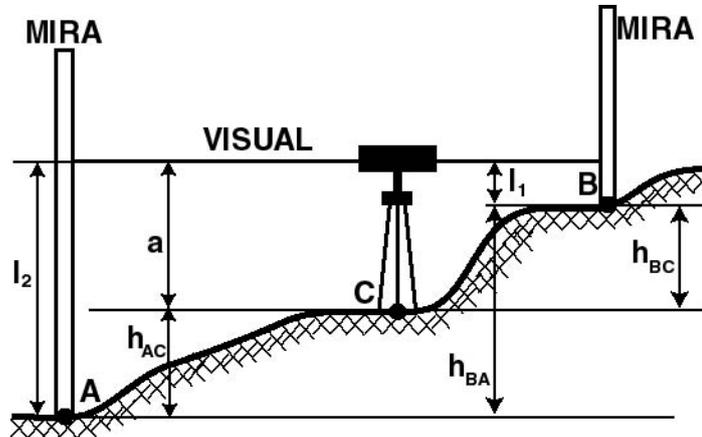


Fig. 27 Nivelación geométrica por punto medio (o por estación central)

C equidista de A y de B (se mide por pasos)

$$h_{AC} = a - l_2$$

$$h_{BC} = a - l_1$$

Según la figura:

$$h_{BA} = h_{BC} + h_{CA} = h_{BC} - h_{AC}$$

Luego:

$$h_{BA} = (a - l_1) - (a - l_2) \Rightarrow h_{BA} = l_2 - l_1$$

La diferencia de nivel entre dos puntos es igual a diferencia entre la lectura de miras

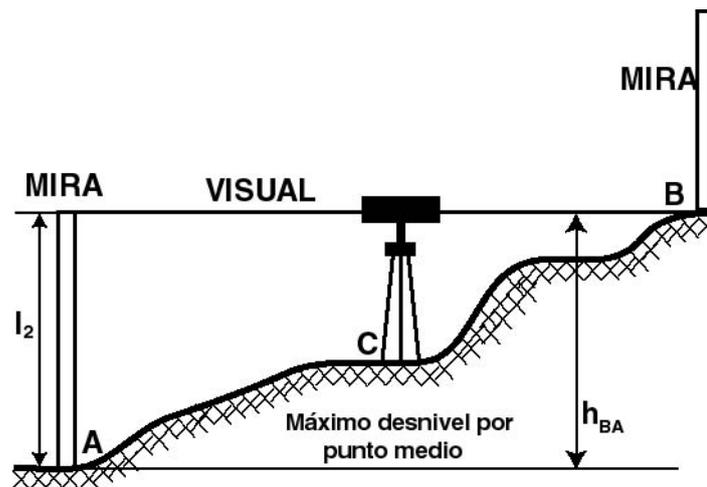


Fig. 28 Nivelación geométrica por punto medio (o por estación central)

Los errores serán e_1 y e_2

Es el método más recomendable ya que se eliminan los errores. La inclinación a permanece constante mientras se efectúan las lecturas, de ahí que:

$$e_2 = e_1 \Rightarrow h_{BA} = (l_2 + e_2) - (l_1 + e_1) = l_2 - l_1$$

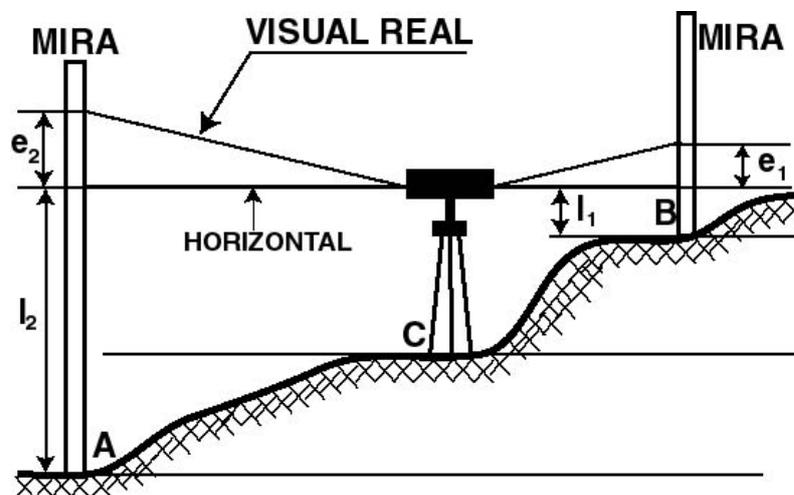


Fig. 29 Nivelación geométrica por punto medio: Compensación de errores

4.3.5 Nivelación geométrica por estaciones recíprocas.

Este método permite comprobación:

Este método suministra una precisión similar al método de nivelación geométrica por punto medio (o por estación central), al eliminar los errores sistemáticos del nivel

Se han de hacer dos estaciones, primero en "A" y después en "B", empleando en ambos casos el método por el punto extremo

- Operación 1ª:

$$h_{BA} = a_1 - l_1$$

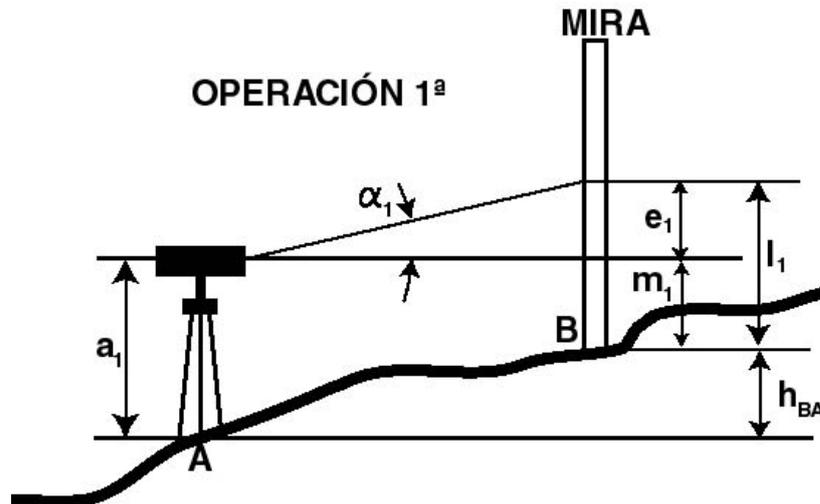


Fig. 30 Nivelación geométrica por estaciones recíprocas

- Operación 2ª:

$$h_{AB} = a_2 - l_2$$

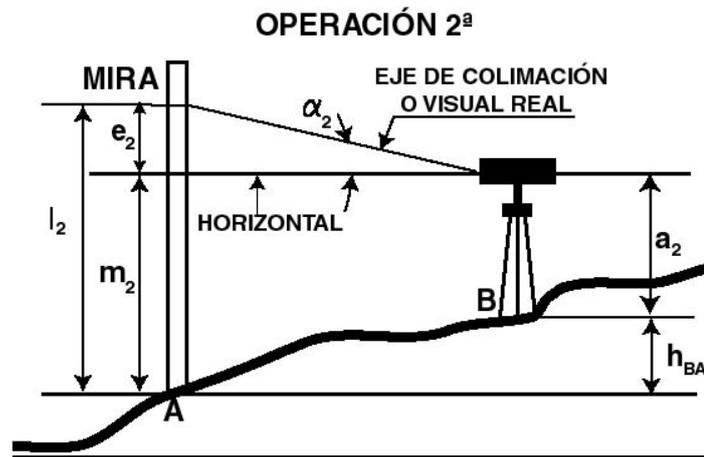


Fig. 31 Nivelación geométrica por estaciones recíprocas

De ahí que, restando:

$$h_{BA} - h_{AB} = a_1 - a_2 - (l_1 - l_2) \Rightarrow h_{BA} = -h_{AB}$$

$$2 * h_{BA} = (a_1 - a_2) - (l_1 - l_2)$$

Considerando además que:

$$l_1 = m_1 + e$$

$$l_2 = m_2 + e$$

Se deduce que:

$$h_{BA} = \frac{a_1 - a_2}{2} - \frac{l_1 - l_2}{2} = \frac{a_1 - a_2}{2} - \frac{m_1 - m_2}{2}$$

Esta expresión permite afirmar que el valor obtenido mediante las lecturas reales de miras reales l_1 y l_2 es idéntico al obtenido de haber utilizado los valores m_1 y m_2 correctos.

4.3.6 Nivelación geométrica radial.

La **nivelación radial** consiste en una serie de nivelaciones simples por el punto extremo de modo que se mantiene constante la situación del instrumento.

Este método es conveniente cuando se trata de efectuar la altimetría de una extensión limitada de terreno, de modo que la mira se sitúa sucesivamente en cada punto que se trata de definir; la estación está situada en el interior de la zona.

La **limitación de este método** radica en que:

- En los puntos más bajos que el punto de estación sólo podrá haber una diferencia de nivel máxima igual a la altura de mira menos la del instrumento.
- En los puntos más altos será igual a la altura del instrumento.

A veces se lleva a cabo al mismo tiempo la **planimetría** y la **altimetría** con un nivel provisto de limbo acimutal

4.3.7 Nivelación compuesta (o itinerario altimétrico)

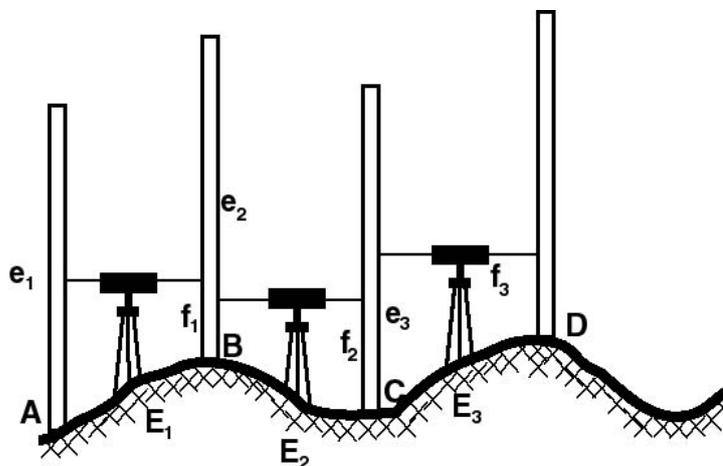


Fig. 32 Nivelación compuesta (o itinerario altimétrico)

Este tipo de nivelación se emplea cuando la distancia entre los puntos cuyo desnivel se desea determinar es muy grande, o no son visibles entre sí, y también cuando la diferencia de nivel no puede salvarse mediante una sola estación.

Se utiliza el método del punto medio haciendo estación en una serie de puntos intermedios $E_1, E_2, E_3...$ situados entre A y D, puntos cuya diferencia de nivel se quiere medir.

Una vez efectuadas las primeras lecturas de espalda " e_1 " y de frente " f_1 " se traslada el aparato a la

$$\mathbf{h}_{DA} = \mathbf{h}_{BA} + \mathbf{h}_{CB} + \mathbf{h}_{DC}$$

$$\mathbf{h}_{BA} = \mathbf{e}_1 - \mathbf{f}_1$$

$$\mathbf{h}_{CB} = \mathbf{e}_2 - \mathbf{f}_2$$

$$\mathbf{h}_{DC} = \mathbf{e}_3 - \mathbf{f}_3$$

estación E_2 manteniendo la mira en B y así sucesiva-mente:

Por tanto:

$$h_{DA} = (e_1 + e_2 + e_3) - (f_1 + f_2 + f_3) \Rightarrow h_{DA} = \sum e - \sum f$$

5. Marcación de una curva de nivel.

El relieve de la superficie terrestre se suele representar métricamente sobre un plano a través de las curvas de nivel, unas isóneas que unen puntos situados a la misma altitud y que se trazan generalmente con un intervalo determinado y equidistante para todo el terreno a cartografiar. Una de cada cuatro o cinco curvas se dibuja con un mayor grosor y se rotula su altitud correspondiente; son las llamadas **curvas maestras** y entre ellas se describen las curvas de nivel intermedias. Actualmente, las curvas se trazan a partir de las fotografías aéreas, consiguiendo una precisión mucho mayor que cuando tenían que delimitarse en el campo con la ayuda de una red de cotas. A pesar de que las curvas de nivel no proporcionan una imagen visual del relieve tan clara como la técnica del sombreado, su análisis facilita tal cantidad de información que hace que sea el método más útil de representación del relieve en los mapas topográficos.

Las curvas de nivel unen puntos de la misma altitud, por encima o por debajo de una superficie de referencia, que generalmente coincide con la línea del nivel del mar, y tiene el fin de mostrar el relieve de un terreno. Son uno de los variados métodos que se utilizan para reflejar la forma tridimensional de la superficie terrestre en un mapa bidimensional. En los modernos mapas topográficos es muy frecuente su utilización, ya que proporcionan información cuantitativa sobre el relieve. Sin embargo, a menudo se combinan con métodos más cualitativos como el colorear zonas o sombrear colinas para facilitar la lectura del mapa. El espaciado de las curvas de nivel depende del intervalo de curvas de nivel seleccionado, de la pendiente del terreno, y de la escala: cuanto mayor sea la pendiente, más próximas entre sí aparecerán las curvas de nivel en cualquier intervalo de curvas o escala del mapa. De este modo, los mapas con curvas de nivel proporcionan una impresión gráfica de la forma, inclinación y altitud del terreno. Las curvas de nivel pueden construirse interpolando una serie de puntos de altitud conocida o a partir de la medición en el terreno, utilizando la técnica de la nivelación. Sin embargo, los mapas de curvas de nivel más modernos se realizan utilizando la fotogrametría aérea, la ciencia con la que se pueden obtener mediciones a partir de pares estereoscópicos de fotografías aéreas. El término isónea puede utilizarse cuando el principio de las curvas de nivel se aplica a la realización de mapas de otros tipos de datos cuantitativos, distribuidos de forma continua, pero, en estos casos, suele preferirse utilizar términos más especializados con el prefijo iso- (que significa igual), como isobatas para curvas de nivel submarinas, o isobaras para las líneas que unen puntos que tienen la misma presión atmosférica.

El operador comienza a nivelar partiendo de una cota conocida, efectuando una nivelación compuesta, desde la estación de arranque debe marcar los puntos del terreno que tienen igual lectura de mira. Cuando cambia la estación tomara como diferencia el último punto de la estación anterior y efectuada la lectura de mira se procede a buscar sobre el terreno puntos de igual cota que proporcionen la misma lectura y así hasta terminar con esa curva. De esta manera se marca sobre el terreno una línea de nivel, para lo que se van colocando señales semipermanentes (por ejemplo, clavos o estacas) que definen su trayectoria.

5.1. Desarrollo.

El trazado de una curva de nivel en el terreno se puede realizar con un nivel óptico, un teodolito, una manguera, etc.

Para emplear el nivel se necesita una "mira parlante", sobre la cual se realiza la lectura. El nivel se afirmará sobre el terreno mediante un trípode, y se nivelará con respecto al suelo.

También tiene una lente a través de la cual se realiza la lectura de mira. También dispone de tornillos de enfoque y, en la parte inferior, de tornillo para girar el nivel hacia una dirección determinada, que permite medir ángulos.

5.2. Pasos a seguir para la marcación de una curva de nivel.

Para hacer la marcación de una curva de nivel, se procede:

- a) *Se debe determinar la zona de desagüe.*

- b) *Se elige la zona de mayor pendiente, debido a que este lugar es el de mayor deterioro, por la acción directa de las lluvias y se saca la pendiente promedio, para ello se recurre a una tabla de intervalos verticales y horizontales.*
- El intervalo vertical es la diferencia de nivel que existe entre una curva y otra.
 - El intervalo horizontal es la distancia que existe entre una curva y otra.
- c) *Se realiza la tabla de intervalos verticales y horizontales.*
- d) *Se hace la marcación de arranque, que es el lugar donde nace la curva de nivel, cuya marcación se realiza por el lado opuesto de la zona de desagüe.*
- e) *Se realiza la primer lectura para saber en que lugar se está, a este valor se le suma 3 cm (la que comúnmente se denomina pendiente del 3‰ y se desplaza 10 m cortando la pendiente y así sucesivamente.*
- f) *Suavización de la curva para que sea mas o menos proporcional.*

La curva de nivel evita que los suelos se deterioren y de esta forma se pueden aprovechar los terrenos con mucha pendiente.

6. Fases de un proyecto: trabajos topográficos.

Fases esenciales de un proyecto correspondiente a una obra de ingeniería de cierta importancia: trabajos topográficos

6.1. Estudio previo.

Estudio previo para señalar provisionalmente los linderos, trazados, etc. suele bastar con el mapa nacional, visita al terreno, instrumentos de medida sencillos.

6.2. Redacción del anteproyecto.

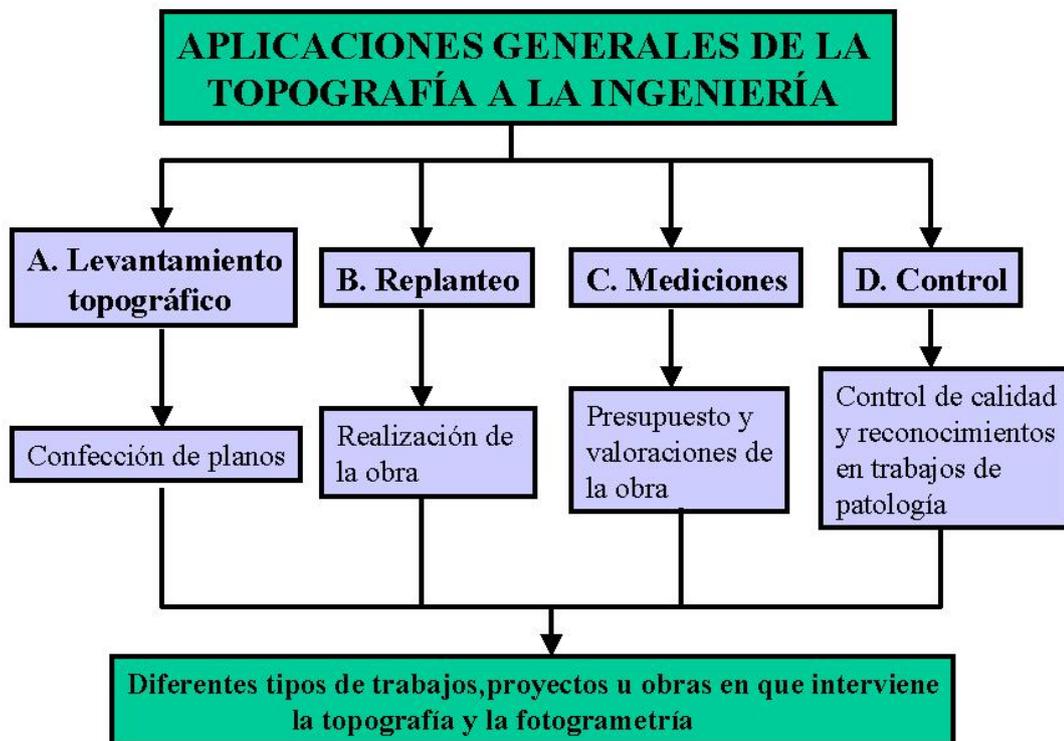
Redacción del anteproyecto: se exige contar con las diferentes variantes para elegir una solución sobre la base de un plano topográfico con sólo los detalles más significativos (levantamiento provisional).

6.3. Redacción del proyecto.

Redacción del proyecto: se exige realizar un plano topográfico a mayor escala y con más detalles, definiéndose perfiles longitudinales y transversales a menos separación para obtener la exactitud suficiente y efectuar las correcciones oportunas (levantamiento definitivo).

6.4. Ejecución de la obra.

Ejecución de la obra: se efectúan los replanteos a partir de los planos de proyecto y el control de calidad de la obra ejecutada contando con esos mismos planos.



7. Aplicaciones de la topografía y la fotogrametría.

Tipos de trabajos, proyectos u obras en los que interviene la topografía y la fotogrametría

Levantamientos de terreno para plantas, polígonos industriales y urbanizaciones

Parcelaciones a escala municipal, etc.

Estudio de perfiles para regadíos, carreteras, redes eléctricas, oleoductos, gasoductos, saneamientos, traída de aguas, saneamientos, etc.

Planos catastrales.

Autovías, autopistas (incluidos cruces especiales)

Líneas de ferrocarril.

Obras hidráulicas: embalses, centrales, etc.

Cartografía de cascos urbanos y provinciales (escalas de 1:500, 1:1.000, 1:5.000, 1:10000)

Zonas regables y estudios de recursos mineros (escala 1:25.000, S=50.000 ha)

Levantamientos subterráneos

8. Trabajos topograficos en una planta industrial.

