

**Bloque 4**

- 4.1. Instrumentos topográficos: medidas de ángulos, distancias, desniveles y coordenadas.
- 4.2. Nivel alimétrico.
- 4.3. Lecturas en la mira.
- 4.4. Nivelación.
- 4.5. Itinerario de nivelación geométrica.

**Bibliografía y referencias**

Martínez, R. Topografía y Sistemas de Información. Editorial Bellisco. Madrid, 2000.

---

**4.1. Instrumentos topográficos: medida de ángulos, distancias, desniveles y coordenadas**

La evolución de los instrumentos de topografía ha sido especialmente rápida en los últimos 20 años. Hasta los años 80 se usaron las brújulas taquimétricas, los teodolitos y los taquímetros casi exclusivamente. Todos ellos son instrumentos óptico-mecánicos para la medida de ángulos y distancias, y se basan en giros y movimientos de círculos graduados combinados con un anteojo para visar el objeto. Estos instrumentos, junto con mediciones en elementos auxiliares como las miras, no permitían alcances largos, y la precisión en la estimación de distancias era baja. A principios de los años 80 surgen los distanciómetros, instrumentos auxiliares que se acoplaban a los taquímetros basados en la emisión y recepción de ondas electromagnéticas que se generaban en el propio instrumento y que medían la distancia con precisiones de cm y alcances de varios km. Al poco tiempo estos aparatos se compactaron en un único instrumento de medida angular (el teodolito o taquímetro) más el instrumento para medir distancias (distanciómetro), constituyendo las estaciones totales, que siguen vigentes para mediciones en ingeniería. La siguiente revolución, y la más profunda de todas, fue el GPS, que comenzó con costes muy altos y bastantes incertidumbres en la medida, pero que hoy en día es imprescindible. Hay que distinguir entre el GPS del tipo navegador, que es el usado para aplicaciones de gama baja, y el GPS de tipo geodésico o topográfico, con aparatos y configuraciones mucho más precisas y sofisticadas. Por último, la última generación de instrumentos topográficos la constituyen los escáneres basados en laser, que realizan una medición simultánea de las tres coordenadas del objeto, y por tanto pueden ser utilizados desde el aire, para obtener un modelo digital de elevaciones del terreno de gran exactitud; o desde tierra, para levantamientos de elementos arquitectónicos o de gran detalle (Figura 4-1).

## BLOQUE 4



Figura 4-1. Algunos instrumentos topográficos.

Los instrumentos ‘clásicos’ medían básicamente ángulos, distancias y desniveles, y por tanto, coordenadas polares que pueden transformarse en cartesianas. Se trabajaba en un sistema plano y particular de coordenadas, siempre que las dimensiones del levantamiento o del trabajo no implicasen deformaciones por curvatura terrestre. Como ya se ha dicho, la tendencia actual consiste en utilizar el GPS, tanto en levantamientos como en replanteos, que mide directamente coordenadas sobre el elipsoide (geográficas latitud y longitud) y que se transforman de forma rutinaria en proyectadas (X,Y) UTM. El problema, no obstante, es que los GPS de tipo geodésico o topográfico, que determinan coordenadas con precisiones del orden de cm o mm, tienen un precio elevado y requieren al menos dos equipos -o un equipo con posibilidad de admitir correcciones directas o post-proceso. Sobre la elección de receptores GPS se hablará en el tema siguiente. Los instrumentos del tipo taquímetro o estación total siguen siendo útiles para trabajos de levantamientos o replanteos, así como los niveles para la obtención de desniveles, perfiles y transferencia de cotas, muy típicos en el ámbito de la ingeniería rural y agrícola. Por su relevancia en este contexto, se describe a continuación el nivel y sus aplicaciones en levantamientos altimétricos.

## 4.2. Nivel altimétrico

El nivel altimétrico es un instrumento topográfico destinado exclusivamente a la medida de desniveles. Sus elementos, agrupados según su funcionalidad, son (Figura 4-2):



Figura 4-2. Nivel altimétrico de tipo automático.

## BLOQUE 4

### - Anteojo

Mecanismo de enfoque del objetivo

Mecanismo de enfoque del ocular (cruz filar)

Señal de puntería

### - Movimientos

Movimiento horizontal: tornillo para desplazamientos lentos. El limbo, que gira libremente, ofrece lecturas de baja apreciación a través de una pequeña ventana.

Carece de movimiento vertical.

### - Niveles de burbuja

Nivel circular con espejo auxiliar

### - Plataforma nivelante

Tornillos de nivelación

Sistema de anclaje al trípode

Carece de plomada óptica

Pese a que la mayoría de estos instrumentos poseen tanto hilos estadimétricos como limbo horizontal, no deben ser utilizados ni en la medida de distancias ni en la de ángulos, ya que ni el sistema óptico ni el círculo alcanzan la apreciación suficiente para obtener resultados precisos.

Su fundamento consiste en la definición de un plano horizontal (plano de giro del anteojo alrededor del eje principal del aparato), o de una visual horizontal (caso de los niveles de línea). Si se trata de un nivel automático, una vez estacionado el aparato sobre el trípode y calado el nivel esférico con los tornillos nivelantes (Figura 4-2), cualquier dirección que determine el anteojo será horizontal. En el caso de los niveles de línea, se procederá a la horizontalización de la plataforma nivelante con el nivel esférico; pero además, cada visual deberá ser rectificadas mediante un nivel sensible, tubular o de coincidencia.

El procedimiento para estacionar un nivel **automático** es el siguiente:

- 1) Se coloca el trípode sobre el terreno con la meseta sensiblemente horizontal, anclando el nivel mediante el tornillo de sujeción.
- 2) Se cala el nivel de burbuja circular mediante los tornillos de la plataforma comprobando en varias direcciones del anteojo -no se aconseja realizar el calado con las patas del trípode para agilizar el trabajo-. Cualquier visual que realicemos ahora, debido al automatismo del aparato, será horizontal.

### 4.3. Lecturas en la mira

La mira es en realidad una gran regla que se ha rotulado con números y colores visibles a distancia sobre el terreno (Figura 4-3). A veces llevan incorporado un nivel de burbuja para asegurar la verticalidad, muy importante para minimizar errores.



Figura 4-3. Mira y detalle de nivel de burbuja acoplado.

La lectura se hace en realidad igual que en una regla, pero conviene familiarizarse con ella para evitar equivocaciones. En la mira de la Figura 4-4 los cm no van numerados y los milímetros se representan de dos en dos.

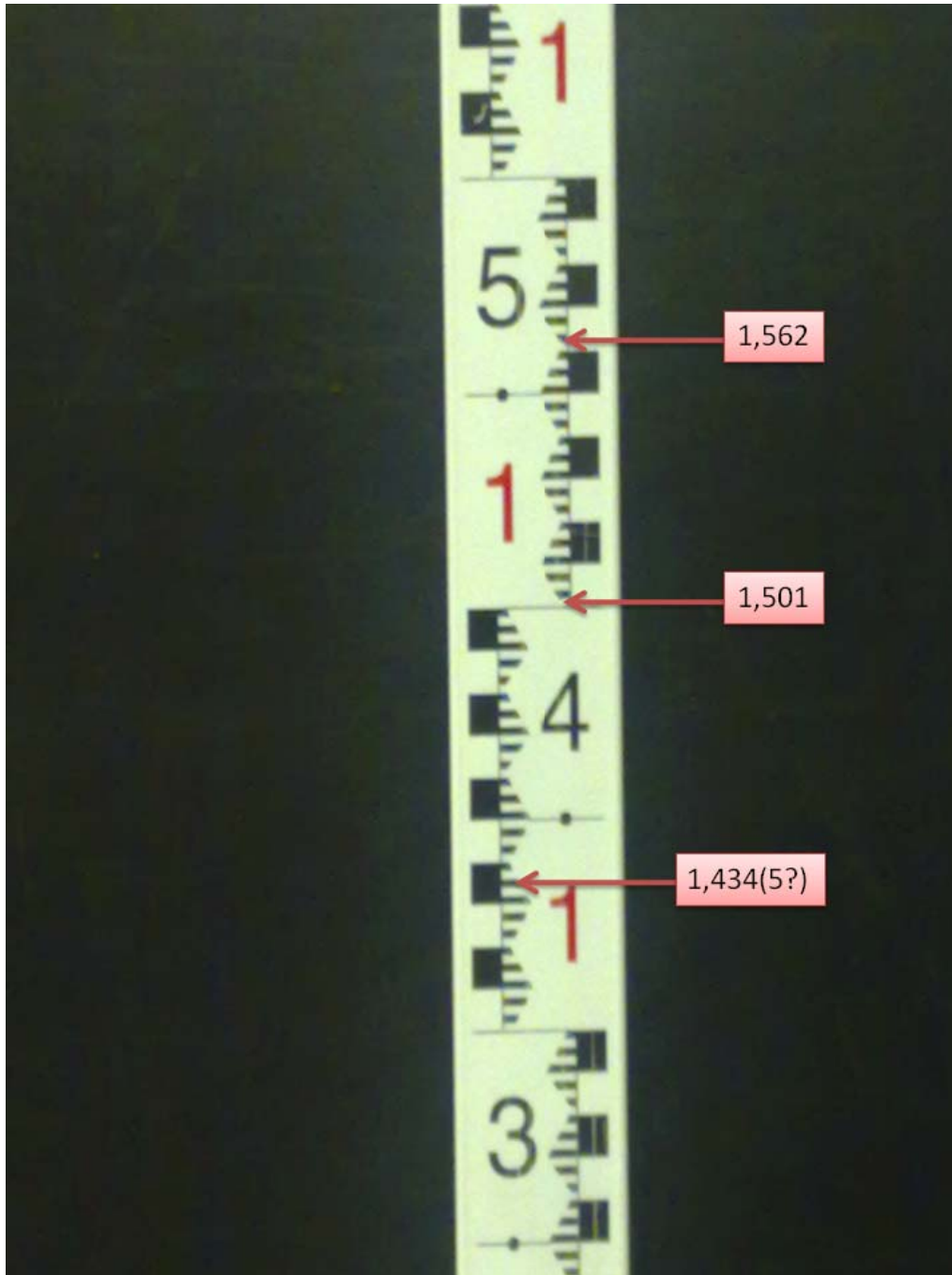


Figura 4-4. Lecturas en mira.

Una vez colocada la mira y estacionado el nivel, se gira el tornillo del movimiento horizontal de éste y se hace puntería sobre la mira. Se enfoca correctamente tanto la mira (con el tornillo del anteojo, Figura 4-2) como los hilos del ocular (con el tornillo más cercano al ojo), hasta que se vean nítidos ambos. Se hace la lectura en la mira del hilo superior, el inferior y el central, y se comprueba que la semisuma de los hilos superior e inferior no difiere de la lectura central en más de 1 mm (Figura 4-5).

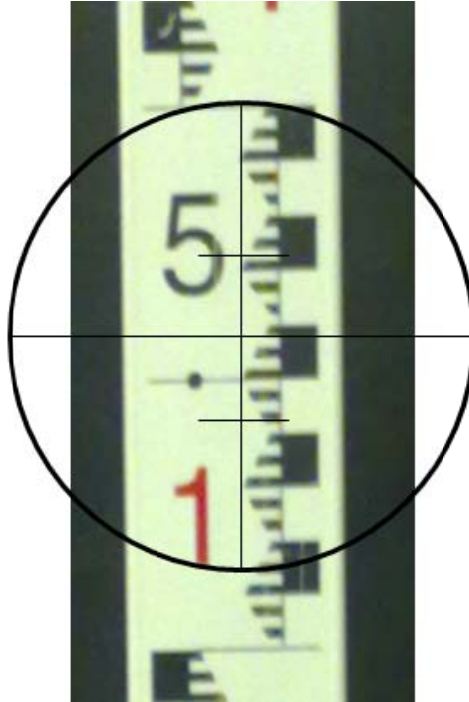


Figura 4-5. Los tres hilos del anteojo sobre la mira. Hilo superior=1,573; hilo inferior=1,542; hilo central=1,558.

#### 4.4. Nivelación

Para la obtención del desnivel entre dos puntos se estaciona el nivel automático en un punto intermedio entre ambos, no necesariamente alineado con ellos. La equidistancia puede comprobarse aproximadamente midiéndola a pasos (Figura 4-6).

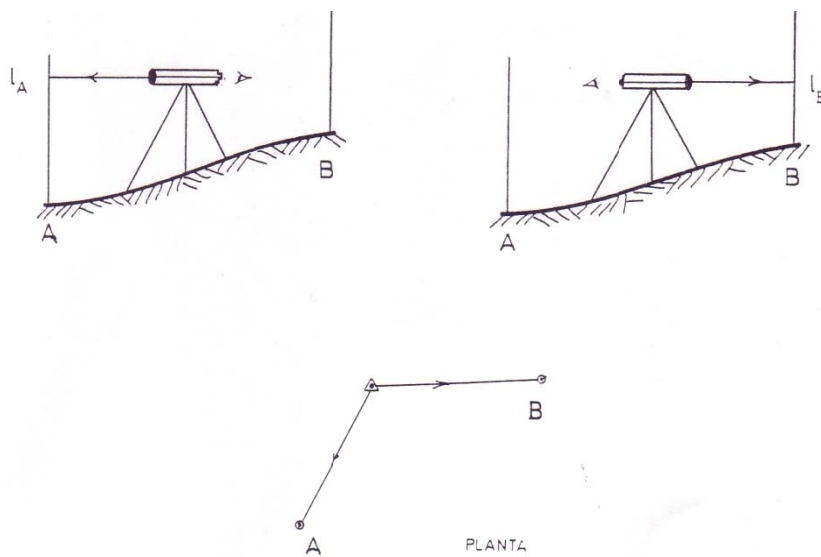


Figura 4-6. Método de nivelación del punto medio.

Se colocan dos miras verticalmente en A y B y se hacen las lecturas en ambas,  $L_A$  y  $L_B$ , girando el anteojo. El desnivel ( $\Delta h$ ) se definirá como

$$\Delta h (A-B) = L_A - L_B$$

La lectura  $L_A$  corresponde a la lectura central del retículo en la mira situada en A, que deberá coincidir con la semisuma de las lecturas de los hilos extremos. Análogamente sucede en B. Con este método, llamado del "**punto medio**", se eliminan los errores sistemáticos del nivel, así como los debidos a la esfericidad terrestre y a la refracción atmosférica.

#### 4.5. Itinerario de nivelación geométrica

Para realizar un itinerario de nivelación, es decir, para obtener el desnivel total entre dos puntos alejados, o para arrastrar la cota de un punto alejado de otro, se irán midiendo tramos intermedios mediante el método del punto medio hasta llegar al punto final. Al llegar al punto final se debe retroceder hasta el principio, de manera que podamos comprobar el resultado del itinerario (Figura 4-7). No es necesario ir señalizando los puntos ni las estaciones intermedias, pero se pueden señalar puntos de control para comprobar que la cota coincide tanto en la ida como en la vuelta del itinerario; especialmente si éste es muy largo. Tampoco es necesario numerar las estaciones del nivel, ya que lo que interesa son los puntos de medida.

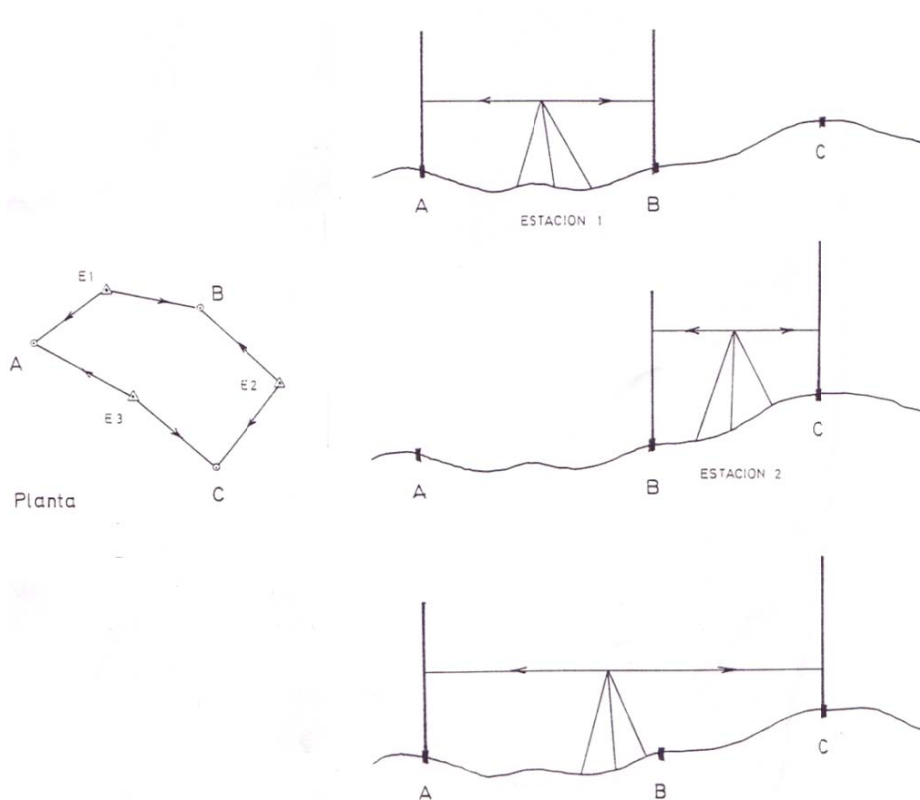


Figura 4-7. Itinerario de nivelación y puntos intermedios. No es necesario marcarlos sobre el terreno.

Se estaciona el nivel equidistante entre A y B y se hacen lecturas en las miras en ellos situadas. Seguidamente, la mira situada en A pasa a C y el nivel se situará entre B y C en una nueva estación. Nuevamente se leerá en las miras B y C. Sucesivamente se prosigue con estaciones y lecturas hasta regresar al punto inicial. Las lecturas que se hagan en el sentido de avance se llaman 'frente' y las que dejamos atrás, 'espalda'. El estadillo de observación de la nivelación podría quedar como el que sigue:

ESTADILLO DE NIVELACION GEOMETRICA							
EST	P. VIS.	L. ESPALDA		L. FRENTE		$\Delta h$	COTA
1	A	$hc_A$	$hs_A$				Z
			$hi_A$				
	B			$hc_B$	$hs_B$	$hc_A - hc_B$	$Z + \Delta h^B_A$
					$hi_B$		
2	B						
	C						
3	C						
	A						

Para cada par de puntos leídos desde una misma estación se cumple que:

$$\Delta h = (L_{\text{esp}} - L_{\text{fren}})$$

$$Z_{i+1} = Z_i + (L_{\text{esp}} - L_{\text{fren}})$$

Las altitudes o cotas absolutas se obtendrán sumando o restando los desniveles a partir del valor altimétrico de A. Nótese que se leen los tres hilos: central, superior e inferior, para comprobación de la lectura del central, de la forma  $h_c = (h_s + h_i)/2$ . La lectura que se usa para el cálculo es la del hilo central, que se corresponde con la dirección de la horizontal definida por el anteojo.

Al realizarse un itinerario de nivelación geométrica **cerrado** se llega al mismo punto del que se sale (denominado por ello el itinerario así observado como **anillo**). Por tanto, una vez calculados los desniveles de los distintos tramos, la suma de todos ellos debería ser 0 metros; o, de la misma forma, la suma de las lecturas de espalda menos la suma de las lecturas de frente sería también nula:

$$\sum \Delta h = (\sum L_{\text{esp}} - \sum L_{\text{fren}}) = 0$$

Resulta recomendable cerrar los itinerarios al nivelar, para detectar el error cometido - llamado genéricamente *error de cierre*-. Después comprobaremos si este error no excede la tolerancia admitida, que se calcula en función de las características del nivel y de la longitud total del itinerario.