

CAPÍTULO 5

Métodos altimétricos

Sebastián I. Besteiro, Carlos A. Orsetti y Héctor A. Salgado

Conceptos generales

Como fue mencionado en el Capítulo 1, la **altimetría** es la rama de la topografía que se encarga de la determinación de las alturas relativas de distintos objetos en el terreno respecto a una superficie de referencia arbitraria.

La nivelación tiene por objeto determinar la **Altura** de puntos característicos del terreno, con respecto a una superficie de referencia o de comparación. La distancia vertical medida entre dicha superficie de comparación y un punto determinado, se denomina **Cota del punto**.

Esta superficie de comparación a la que se le asigna **Cota cero**, es para la República Argentina el nivel medio de las aguas del mar (determinados a través de estadística de observaciones realizadas en el mareógrafo de Mar del Plata).

A partir de esta **Cota cero** y realizando una nivelación de alta precisión se le dio cota al punto de nivelación principal o fundamental del país que se encuentra en el Parque Independencia de la ciudad de Tandil. Se eligió este lugar por ser una formación rocosa muy estable y una de las más antiguas del planeta y además por estar relativamente próxima a Mar del Plata.

En todo trabajo altimétrico, se parte de un punto origen, de cota conocida o la que se le asigne. En este caso será cota arbitraria y se determinan los desniveles entre los distintos puntos que se quieren relevar.

Se entiende por **Desnivel** entre dos puntos, a la diferencia de cota que existe entre ellos. El desnivel, entonces, sumado algebraicamente a la cota del primer punto (punto origen), nos proporciona la cota del segundo, la que nos permitirá determinar la de un tercer punto y así sucesivamente. De esta forma podemos hallar la cota de n puntos, operación que se designa con el nombre de **Transporte de cotas**.

El transporte de cotas, por lo tanto, consiste en tomar un **punto de cota conocida** y transportar ésta a otros puntos cuya cota se desea conocer, calculando los desniveles parciales de uno con respecto al otro.

En síntesis, los desniveles entre puntos se obtienen por procedimientos llamados **Nivelaciones**. Existen diversos tipos de nivelaciones de acuerdo al instrumental y método utilizados (Tabla

5.1). En orden creciente de precisión son: **nivelación barométrica**, **nivelación trigonométrica** y **nivelación geométrica**.

Tabla 5.1: Características distintivas de los distintos procedimientos de nivelación

Tipos	Instrumental	Precisión	Relieve
Barométrica	Barómetro	metro	Muy quebrado
Trigonométrica	Teodolito y miras	cm	Quebrado
Geométrica	Nivel y miras	milímetro	Llano

Nivelación barométrica

El aire que compone la atmósfera terrestre posee un peso, dicho peso ejerce sobre la superficie terrestre una presión llamada **Presión atmosférica**. Cuando ascendemos, esta presión disminuye ya que existe un menor peso de la columna de aire que se encuentra por encima del punto donde estamos ubicados.

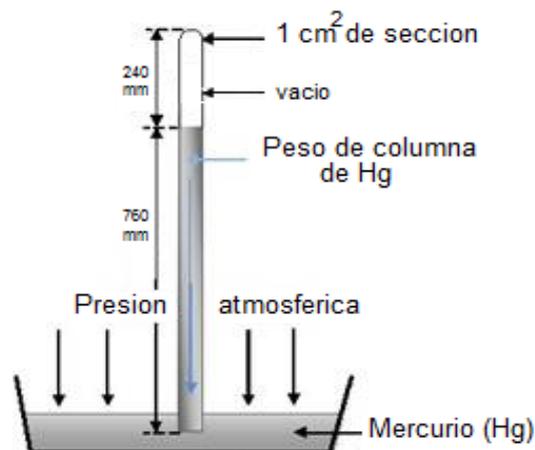
El fundamento de esta nivelación es que la presión atmosférica varía con la altura. La **nivelación barométrica**, determina desniveles por diferencia de presión, debiéndose conocer además la temperatura del aire y la latitud del lugar.

Para medir la presión atmosférica, el instrumento utilizado es el **Barómetro**. Hay dos tipos de barómetros.

Barómetros de Mercurio

Conocidos también como barómetros líquidos, basados en el experimento de Torricelli, donde se mide la altura que alcanza el mercurio contenido en una cubeta, en un tubo de vidrio (Figura 5.1).

Figura 5.1: Experimento de Torricelli



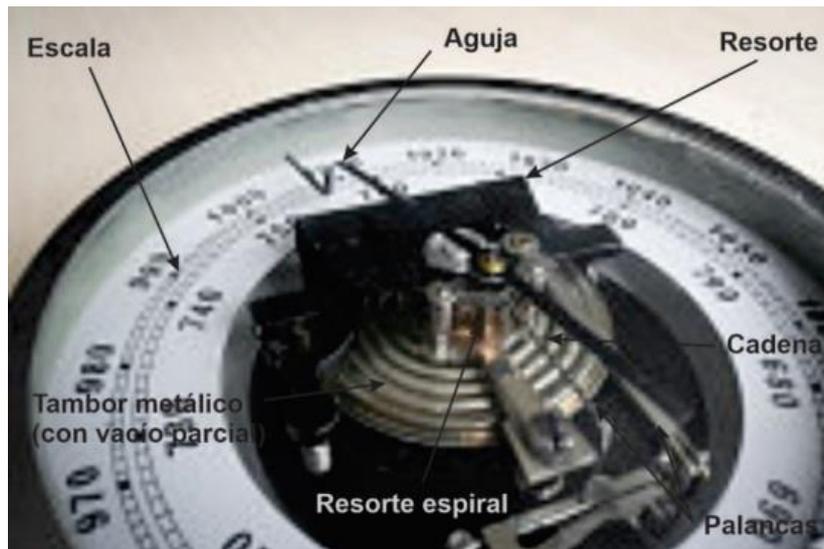
Dentro de este grupo, el más conocido es el **barómetro de Fortin** (Figura 5.2). Este tipo de barómetro es de gran precisión, pero es difícil de transportar y se descalibra fácilmente. Por este motivo se utiliza en los observatorios meteorológicos (estaciones meteorológicas). Sirven también para controlar o calibrar a los barómetros Aneroides.

Figura 5.2: Barómetro de Fortín



Barómetros Aneroides

También conocidos como barómetros de deformación de sólidos o barómetros elásticos, porque utilizan la deformación producida en un material por la presión del aire sobre un elemento elástico. Este tipo de barómetro no contiene líquido (mercurio) y está formado por una cápsula metálica flexible, cerrada en forma hermética, en el interior de la cual se ha hecho vacío. Esta cápsula tiene paredes metálicas muy delgadas que se contraen o se dilatan de acuerdo a las variaciones de la presión atmosférica. Estos movimientos se amplifican por un sistema de engranajes y palancas conectados a un sistema de agujas que permiten hacer una lectura sobre una escala graduada (Figura 5.3).

Figura 5.3. Barómetro Aneroida

Este tipo de barómetros es mucho más práctico y cómodo y casi es tan preciso como el de mercurio. Es el utilizado en las nivelaciones barométricas.

Para determinar el desnivel entre dos puntos las lecturas deben ser corregidas teniendo en cuenta los factores que pueden influir sobre las mismas. Estos factores son fundamentalmente la temperatura, que modifica la densidad del aire, y la latitud, que provoca variaciones en la atracción gravitacional.

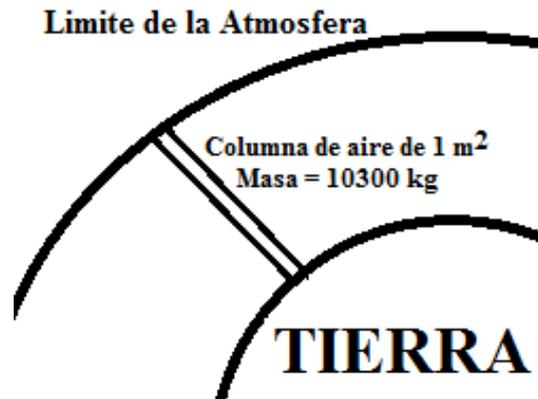
La **nivelación barométrica** es la menos precisa y la más expeditiva de todas. Se utiliza cuando se deben determinar grandes desniveles (zonas montañosas). La **precisión** lograda en este tipo de nivelación se encuentra en el orden del **metro**.

Métodos para la nivelación barométrica

La posibilidad de obtener desniveles mediante la medición de la presión atmosférica se basa en que la atmósfera se halla compuesta por gases, con densidad creciente cuanto más cerca de la Tierra, que ejercen una presión en función de la columna de aire considerada. Así, la masa de la columna de aire (de aprox. 10300 kg) hasta el tope de la atmósfera (aprox. 30 km) produce una presión sobre la unidad de superficie (1 m²) de aproximadamente 101 kP, de acuerdo a:

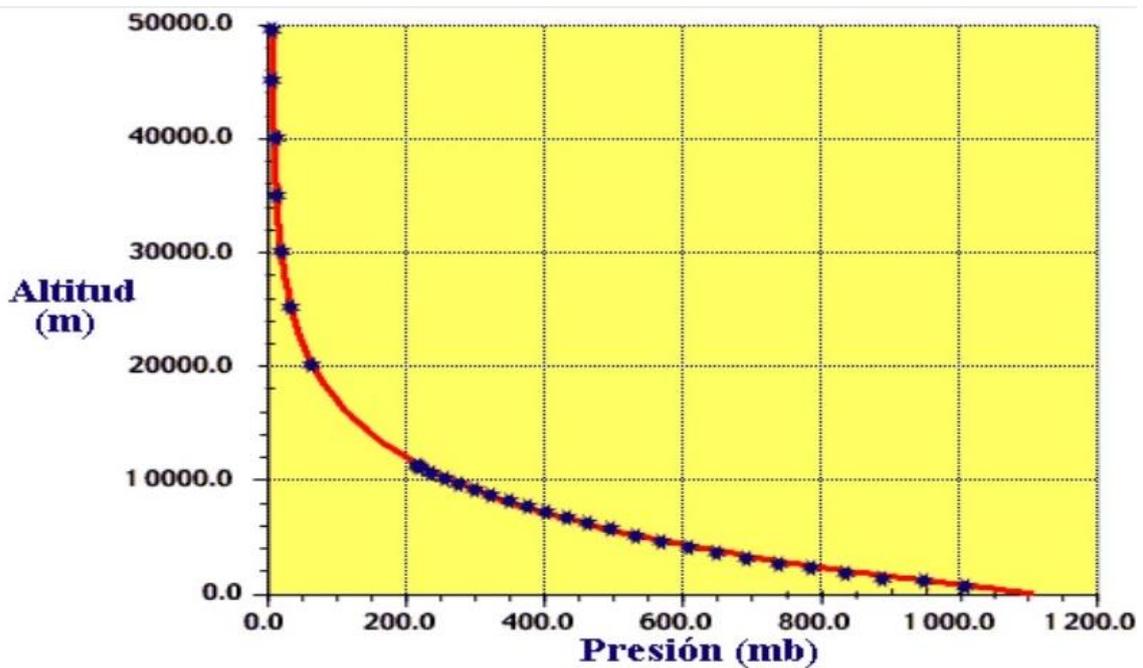
$$P = \frac{F}{\text{sup}} = \frac{10300\text{kg} \cdot 9,81\text{m/s}^2}{1\text{m}^2} = 101043\text{N/m}^2 = 101\text{kP}$$

Figura 5.4. Presión atmosférica



Se puede considerar que la presión atmosférica a nivel del mar es de 1 Atmósfera (atm), equivalente a 1 bar, 760 mmHg o bien 101 kP. La presión disminuye al aumentar la altitud (desnivel respecto al nivel del mar), por disminuir la columna de aire considerada. A medida que aumenta la altitud linealmente, la presión disminuye geoméricamente.

Figura 5.5: Relación altitud vs presión



Para la zona más cercana a la Tierra, se puede aceptar una variación de 1 mmHg cada 10,5 m de desnivel. Por ejemplo, una variación de presión de 5 mmHg, medida con un barómetro, corresponde a un desnivel de 52,5 m (a 0° C).

Para el cálculo del desnivel se pueden emplear distintas fórmulas; las de Babinet y Laplace figuran entre las más difundidas.

Fórmula de Babinet

Considera la influencia de la temperatura (°C) para el cálculo del desnivel entre dos puntos (Δz):

$$\Delta z = 16000 \cdot \{(B_1 - B_2) / (B_1 + B_2)\} \cdot \{1 + 0,004 (T_1 + T_2) / 2\}$$

Donde:

B_1 y B_2 son las lecturas barométricas (en mmHg) en los puntos 1 y 2 respectivamente

T_1 y T_2 son las temperaturas (en °C) en los puntos 1 y 2 respectivamente

Fórmula de Laplace

Considera la influencia de la temperatura (°C) y la relación logarítmica entre las lecturas barométricas para el cálculo de Δz :

$$\Delta z = 18400 \cdot (\log B_1 - \log B_2) \cdot \{1 + 0,004 (T_1 + T_2) / 2\}$$

Donde:

B_1 y B_2 son las lecturas barométricas (en mmHg) en los puntos 1 y 2 respectivamente

T_1 y T_2 son las temperaturas (en °C) en los puntos 1 y 2 respectivamente

Ejemplo:

Calcular el desnivel Δz entre los puntos 1 y 2, en base a las mediciones de presión y temperatura en ellos.

Punto	Presión (mmHg)	Temperatura (°C)
1	640	16
2	596	11

En una primera aproximación, se puede considerar que, a 0°C, 1 mmHg equivale a 10,5m. Por lo tanto $\Delta p = 640 - 596 = 44$ mmHg, que corresponden a un $\Delta z = 462$ m

Considerando la influencia de la temperatura, ya sea lineal (Babinet), así como logarítmica (Laplace), se obtienen los siguientes valores:

Según Babinet:

$$\Delta z = 16000 \cdot \{(640 - 596) / (640 + 596)\} \cdot \{1 + 0,004 (16 + 11) / 2\}$$

$$\Delta z = 600,337 \text{ m}$$

Según Laplace:

$$\Delta z = 18400 \cdot (\log 640 - \log 596) \cdot \{1 + 0,004 (16 + 11) / 2\}$$

$$\Delta z = 599,92 \text{ m}$$

O sea, se puede expresar que el valor del desnivel es de 600 m aproximadamente.

Nivelación trigonométrica

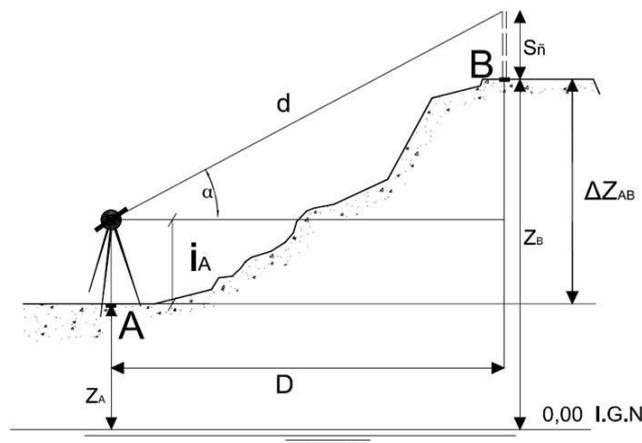
Este tipo de nivelación se utiliza en terrenos quebrados, con fuertes variaciones de pendiente, y en grandes distancias. Se emplea el Teodolito, más precisamente el círculo vertical de este instrumento y así poder dirigir visuales inclinadas (Figura 5.6).

Figura 5.6: Nivelación trigonometría entre vértices de triangulación de montaña (Uspallata, Mendoza)



El fundamento de esta nivelación consiste en dirigir visuales a puntos, cuya cota se desea determinar, sobre los cuales se colocan señales, cuya altura (S_n) es dato (Figura 5.7).

Figura 5.7: Nivelación trigonométrica



Dónde: Z_A : cota del punto A
 Z_B : cota del punto B
 ΔZ_{AB} : desnivel entre A y B
 i_A : altura del instrumento (Teodolito) en A.
 α : ángulo de inclinación de la visual (ángulo de altura)
 $Sñ$: señal de altura conocida
 D : distancia topográfica (horizontal) entre A y B

Si se conoce la cota de A, puede plantearse:

$$Z_B = Z_A + i_A + D \cdot \text{tg } \alpha - Sñ$$

O bien, si se desea calcular el desnivel:

$$\Delta Z_{AB} = Z_B - Z_A = i_A + D \cdot \text{tg } \alpha - Sñ$$

La distancia se mide por lo general en forma inclinada, acompañando el terreno (d). Luego deberá hacerse la reducción al horizonte obteniéndose así “ D ” ($D = d \cdot \cos \alpha$). El uso de distanciómetros en la determinación de d , simplifica considerablemente la operación, pues no debe olvidarse que medir distancias en terrenos quebrados con cinta no resulta una tarea sencilla.

Hay que tener en cuenta que la nivelación trigonométrica se efectúa también para grandes distancias ($D = 10\text{km}$ o más). Por lo tanto, cuando las distancias son importantes, debe considerarse el efecto de la curvatura terrestre, como también el de la refracción, que tiende a curvar la visual, según lo detallado en el Capítulo 1.

Teniendo en cuenta el efecto de curvatura y refracción terrestres (Cr), la expresión para el cálculo de la cota de un punto por Nivelación Trigonométrica quedará:

$$Z_B = Z_A + i_A + D \cdot \text{tg } \alpha - Sñ + \frac{D^2}{2R} (1 - k)$$

De esta expresión se puede determinar también la cota del punto estación, Z_A , en base a la cota Z_B del punto B, teniendo:

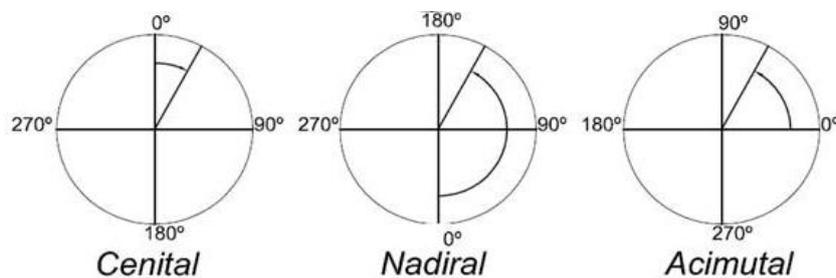
$$Z_A = Z_B - i_A - D \cdot \text{tg } \alpha + Sñ - \frac{D^2}{2R} (1 - k)$$

Error de Índice

De acuerdo a la forma en que se encuentran graduados los distintos tipos de limbos de círculos verticales es posible clasificar los teodolitos en:

- Cenitales: el origen de la graduación se encuentra sobre la vertical, estando el cero grado en la parte superior.
- Nadirales: el origen de la graduación se encuentra sobre la vertical, estando el cero grado en la parte inferior.
- Acimutales: el cero grado se encuentra sobre el horizonte.

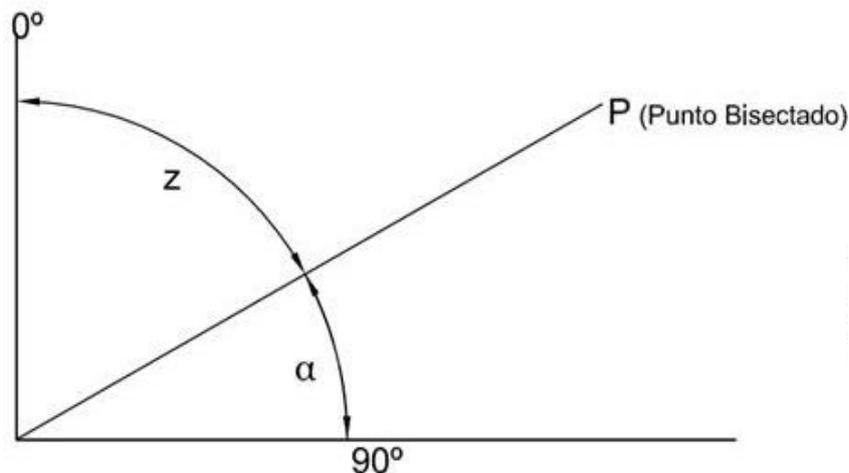
Figura 5.8: Diferentes tipos de origen de graduación de círculos verticales



Se trate de un tipo u otro de instrumento, siempre en la nivelación trigonométrica interesa conocer el ángulo de altura “ α ” (Figura 5.9). Por tal motivo, en caso de no contar con un teodolito acimutal (el cual da directamente el ángulo de altura), se deberá deducir dicho ángulo como complemento del ángulo medido. Por ejemplo, si se supone que el teodolito es cenital, donde z es la distancia cenital o ángulo cenital, el ángulo de altura α se obtendrá como:

$$\alpha = 90^\circ - z$$

Figura 5.9: Ángulo cenital (z) y de altura (α)



Un procedimiento análogo se debe seguir para calcular α en un teodolito nadiral.

Ahora bien, ya sea lo que se mida con el instrumento, ángulos de altura, distancias cenitales o nadirales, dichos valores quedan determinados a partir de un ángulo de referencia.

Ese cero lo da el índice que es fijo y es condición fundamental que el índice sea horizontal en los instrumentos acimutales, debiendo ser vertical en los instrumentos cenitales y nadirales.

Al calar la burbuja del nivel tubular o nivel testigo, se está poniendo en posición horizontal ese índice ya que, por construcción, el nivel testigo tiene su eje paralelo a la línea de los ceros cuando la burbuja está calada.

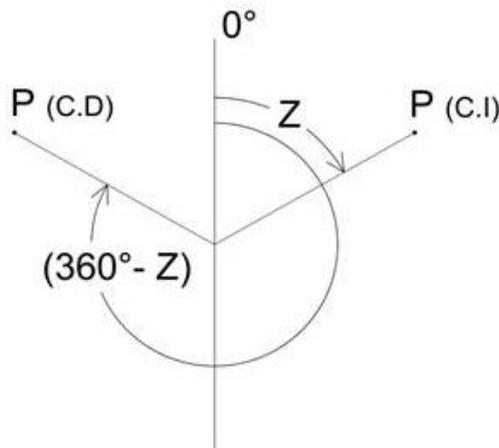
Por lo tanto, **no puede medirse un ángulo con el círculo vertical si previamente no se ha calado la burbuja del nivel testigo.**

“Se supone” que al calar la burbuja de dicho nivel testigo, la línea de los ceros está horizontal o vertical según el tipo de aparato, pero estos instrumentos son sistemas mecánicos y como tales sufren con el uso desgaste adquiriendo de esta manera errores.

El error que en este caso interesa es el llamado “**Error de Índice**” y se da cuando al estar calada la burbuja del nivel testigo, el eje del nivel no es paralelo a la línea de los ceros, o en otras palabras cuando no existe coincidencia exacta entre el cero de la graduación del círculo vertical y el cero del nonio director.

Suponiendo tener un instrumento que mide ángulos cenitales, bisectando un punto P elevado (previamente calada la burbuja del nivel testigo), el ángulo leído será Z (Figura 5.10) en la posición I (Círculo Vertical Izquierda). Luego haciendo vuelta de campana, en posición II, el ángulo será $360-Z$.

Figura 5.10: Angulo cenital z



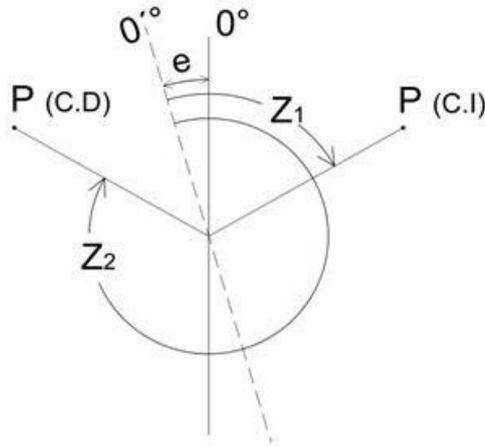
Sumando los valores de la posición I y II, se tiene:

$$Z + 360^\circ - Z = 360^\circ$$

con lo cual no hay error de índice “e”.

Si el instrumento posee error de índice, sucederá que al medir en la posición I el ángulo leído será Z_1 y al dar vuelta campana el ángulo será Z_2 (Figura 5.11)

Figura 5.11: Lectura de ángulos con error de índice



Entonces se tiene:

$$\left. \begin{aligned} Z_1 &= Z + e \\ Z_2 &= 360^\circ - Z + e \end{aligned} \right\} Z_1 + Z_2 = 360^\circ + 2e$$

Por lo tanto, el error será:

$$e = \frac{Z_1 + Z_2 - 360^\circ}{2}$$

Esta es la forma de determinar el error de Índice del instrumento con su signo, si la suma $Z_1 + Z_2$ es mayor que 360° , el error será negativo.

Luego la corrección "c", será con su signo contrario al error:

$$c = -e$$

Se puede demostrar también que midiendo en los dos círculos (esto es posición I y II) se elimina el error de Índice.

Restando las lecturas se tiene:

$$Z_1 - Z_2 = 2Z - 360^\circ$$

Por lo tanto:

$$Z = (360^\circ - (Z_2 - Z_1)) / 2$$

Se ha eliminado el error.

En la práctica se puede determinar si un instrumento tiene error de la siguiente manera: se bisecta un punto lo más elevado posible, una vez calada la burbuja del nivel testigo, se efectúa la lectura en posición I, se hace vuelta de campana, se vuelve a bisectar el mismo punto elevado

teniendo otra lectura ahora correspondiente a la posición II. Los valores se vuelcan en una planilla (Tabla 5.1).

Tabla 5.1

Posición Circulo	Lectura de Nonios
I	64° 44' 00"
II	295° 17' 00"
$\Sigma =$	360° 01' 00"

Como la sumatoria de I+II es distinta de 360°, hay error de Índice (e).

$$360^{\circ}01'00'' - 360^{\circ}00'00'' = 2e = 00^{\circ}01'00''$$

Por lo tanto:

$$e = 00^{\circ}00'30''$$

Luego, como el error es positivo, la corrección será negativa:

$$c = - 00^{\circ}00'30''$$

De esta manera cuando se mide un ángulo con círculo vertical utilizando solamente la posición I (Círculo Izquierda) y el aparato tiene error, a la lectura efectuada se le deberá afectar de la corrección. Como ya se vio, si se mide un ángulo en las dos posiciones I y II, entonces puede eliminarse la influencia del error.

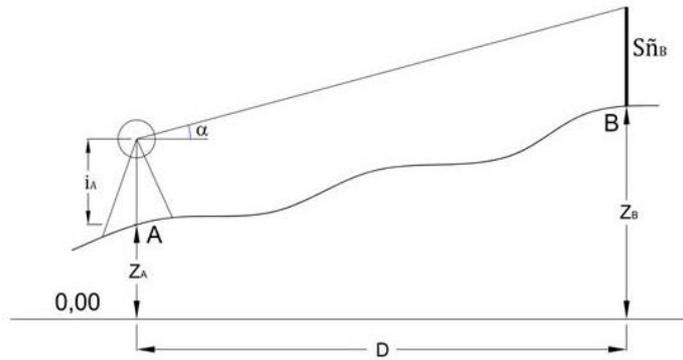
Importante: Cuando se cuenta con teodolitos cenitales o nadirales donde el ángulo de altura no se lee directamente si no se deduce, se suele cometer un error bastante común y grave por cierto, que consiste en afectar de la corrección al valor angular deducido (es decir al ángulo de altura). Esto lo único que origina es multiplicar el error debiéndose primeramente corregir el valor angular leído y luego deducir el ángulo de altura.

Nivelación trigonométrica recíproca y simultánea

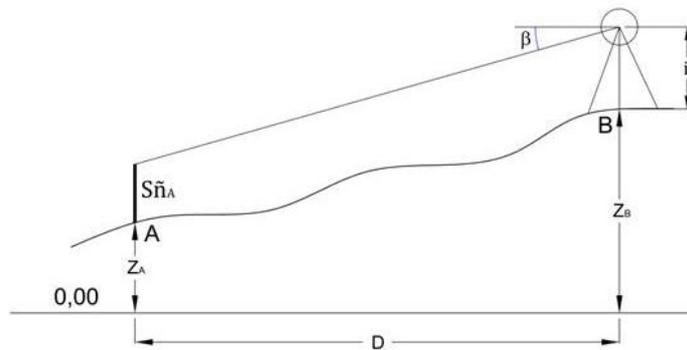
Si al mismo tiempo dos operadores observan, uno midiendo un ángulo vertical α desde A hacia B (Figura 5.12a) y el otro un ángulo vertical β , desde B hacia A (Figura 5.12b), y si admitimos que la refracción en los puntos A y B es aproximadamente la misma por pasar los rayos de luz que emanan de B y A aproximadamente por las mismas capas de aire, puede obtenerse un valor más exacto para el desnivel ΔZ entre ambos puntos.

Figura 5.12a: Nivelación trigonométrica recíproca y simultánea

a. Estación en A



a. Estación en B



Se puede plantear:

$$Z_B = Z_A + i_A + D \cdot \text{tg } \alpha - Sñ_A + \frac{D^2}{2R} (1 - k)$$

$$Z_A = Z_B + i_B + D \cdot \text{tg } \beta - Sñ_B + \frac{D^2}{2R} (1 - k)$$

Restando ambas expresiones se obtiene:

$$Z_B - Z_A = Z_A - Z_B + i_A - i_B + D \cdot \text{tg } \alpha - D \cdot \text{tg } \beta - Sñ_A + Sñ_B$$

$$2(Z_B - Z_A) = i_A - i_B + D(\text{tg } \alpha - \text{tg } \beta) - Sñ_A + Sñ_B$$

$$2\Delta Z_{AB} = i_A - i_B + D(\text{tg } \alpha - \text{tg } \beta) - Sñ_A + Sñ_B$$

$$\Delta Z_{AB} = \frac{i_A - i_B + D(\text{tg } \alpha - \text{tg } \beta) - Sñ_A + Sñ_B}{2}$$

Así se puede calcular el desnivel entre los puntos A y B sin tener en cuenta el efecto de curvatura y refracción terrestres.

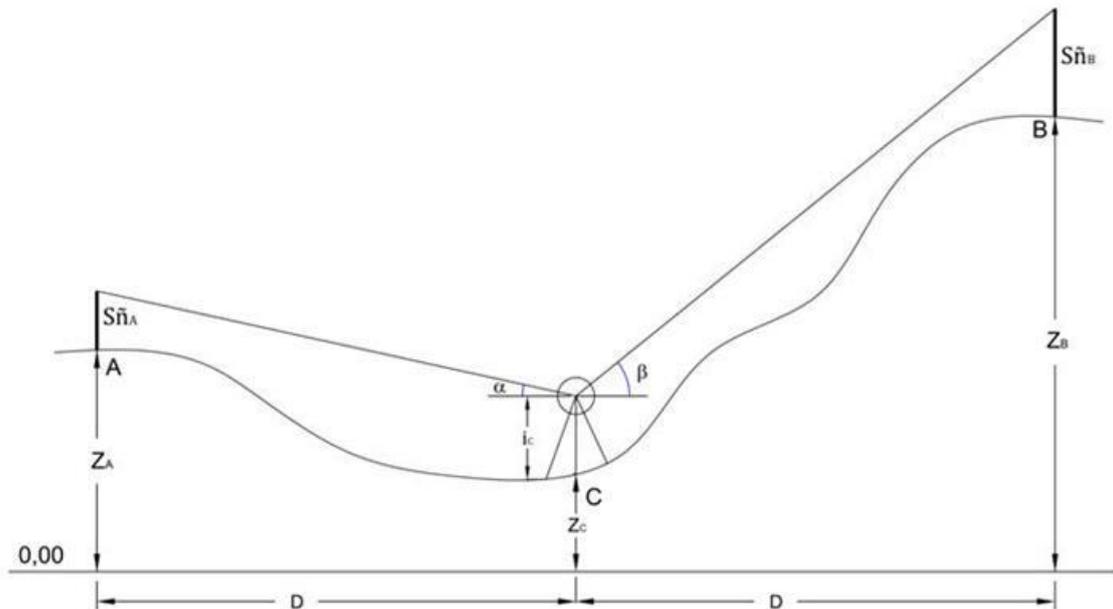
Cabe aclarar que desde las 10:00 de la mañana y hasta las 15:00 hs el coeficiente de refracción k prácticamente no sufre variaciones. Por consiguiente, dos observaciones recíprocas, pueden ser consideradas como simultáneas si ambas se realizan en horarios próximos al mediodía siempre que no varíen las condiciones meteorológicas.

Nivelación trigonométrica desde el medio

Otra forma de nivelación se presenta cuando nos colocamos con el teodolito en un punto intermedio C, ya sea para obtener un mejor rendimiento de trabajo o visualizar con mayor precisión las señales colocadas en A y B.

Las influencias de la curvatura y refracción terrestres quedan casi completamente eliminadas en la nivelación trigonométrica cuando se estaciona el teodolito en un punto C ubicado aproximadamente equidistante de A y B.

Figura 5.13: Nivelación trigonométrica desde el medio



$$Z_B = Z_C + i_C + D \cdot \operatorname{tg} \beta - Sñ_B + \frac{D^2}{2R} (1 - k)$$

$$Z_A = Z_C + i_C + D \cdot \operatorname{tg} \alpha - Sñ_A + \frac{D^2}{2R} (1 - k)$$

Restando $Z_B - Z_A$ se obtiene el desnivel ΔZ_{AB}

$$Z_B - Z_A = Z_C + i_C + D \cdot \text{tg } \beta - S\tilde{n}_B + \frac{D^2}{2R} (1 - k) - \left[Z_C + i_C + D \cdot \text{tg } \alpha - S\tilde{n}_A + \frac{D^2}{2R} (1 - k) \right]$$

Quedando: $\Delta Z_{AB} = D \cdot (\text{tg } \beta - \text{tg } \alpha) - S\tilde{n}_B + S\tilde{n}_A$

Al estacionar el instrumento en el medio, quedan anuladas las influencias de curvatura y refracción.

Nivelación geométrica

La nivelación geométrica consiste en dirigir visuales horizontales con el equialtímetro a reglas o miras verticales, colocadas en los puntos, entre los cuales se quiere determinar el desnivel. Una vez definido un sentido de avance, el desnivel ΔZ se obtiene por diferencia de lecturas entre las miras, respondiendo a la siguiente expresión:

$$\Delta Z = I_{\text{atrás}} - I_{\text{adelante}}$$

Cuando el desnivel es positivo (lectura atrás mayor que la lectura adelante), el terreno va subiendo (pendiente positiva). En caso contrario, lectura adelante mayor que lectura atrás, el terreno va bajando (pendiente negativa).

Figura 5.14a: Desnivel positivo

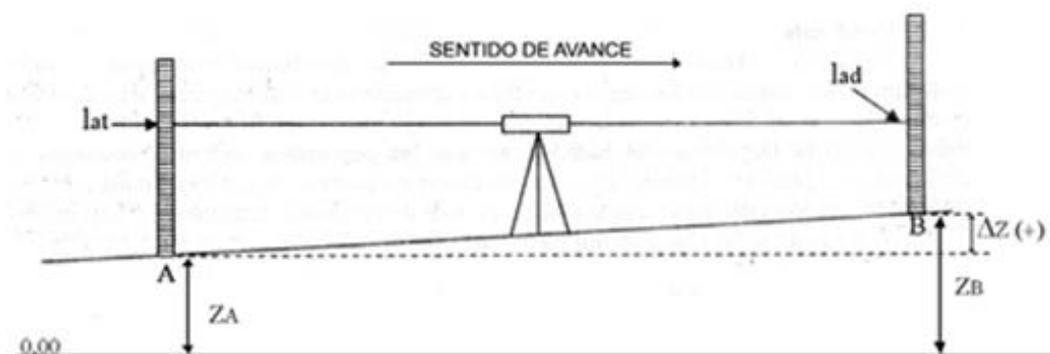
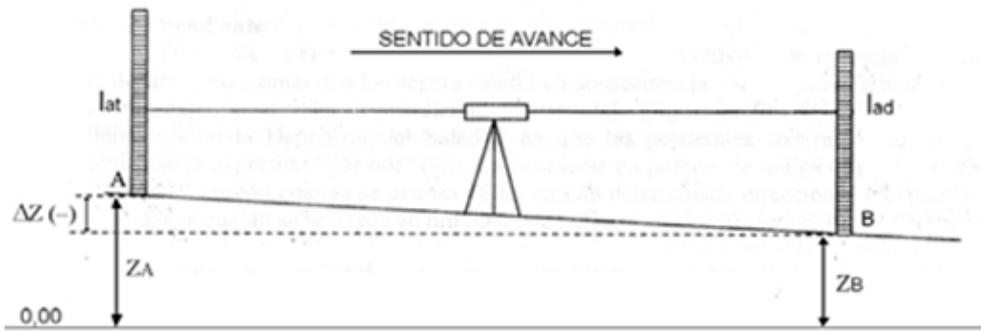


Figura 5.14b: Desnivel negativo

Por consiguiente, se puede calcular la cota de un punto, conocida la cota de otro y el desnivel entre ambos:

$$ZB = ZA + \Delta Z$$

Dónde: ZA: Cota del punto A conocida
 ZB: Cota del punto B a calcular
 ΔZ : Desnivel entre A y B conocido (con su signo, si es (+) suma, si es (-) resta)

Transporte de cotas

Es la operación por la cual se calculan cotas de determinados puntos a partir de la cota de un punto, identificado como Nivel de Referencia (NR). En general el NR reúne condiciones de estabilidad a lo largo del tiempo (estructura de cemento, protegida, etc.). Puede estar materializado por mojones de hormigón, base de puente, etc. (Figura 5.15).

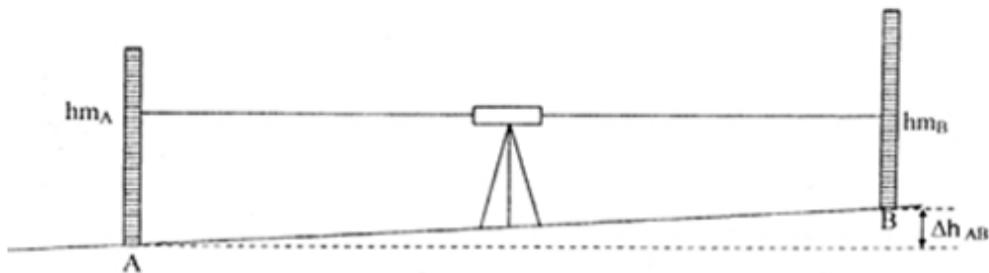
Figura 5.15: NR en base de mástil en Campo *Hirschhorn* (La Plata, Buenos Aires)

Conceptualmente, se parte de un punto de cota conocida A y se dará cota a otro punto B de cota hasta ahora desconocida. Según la distancia a la que se encuentran separados A y B, se definen dos modalidades de trabajo: nivelación simple o compuesta.

Nivelación simple

Consiste en la nivelación entre 2 puntos A y B en donde su separación no requiere efectuar más de una estación del nivel. Por ejemplo, para un aumento del anteojo $A = 25$, si A y B están separados 150m o menos, se efectuará una sola estación de nivel (Figura 5.16).

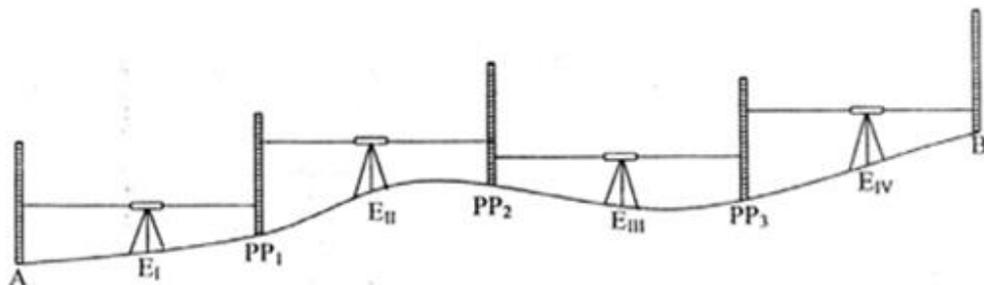
Figura 5.16: Nivelación geométrica simple



Nivelación compuesta

Consiste en una sucesión de nivelaciones simples y esto se produce cuando la distancia entre los puntos A y B es tal que no puede resolverse con una sola estación de nivel. Si se toma el ejemplo anterior, aumento = 25, sería cuando entre A y B existe más de 150m. En este tipo de nivelación se suele determinar la cota de puntos intermedios, entre A y B, llamados "puntos de paso" (PP_n).

Figura 5.17: Nivelación Geométrica Compuesta



Tolerancia

Todo itinerario de nivelación deberá ser verificado volviendo al punto de arranque (ida y vuelta) o vinculándolo a otro punto fijo de cota conocida.

En el primer caso debe cumplirse que la cota recalculada del punto de arranque debe ser igual al de la cota de partida. En el segundo caso, la cota calculada del punto fijo al que se arriba debe coincidir con la verdadera cota del mismo. Si esto no se cumple estamos en presencia de un error de cierre. Como todo error debe ser comparado con la tolerancia (error máximo admitido).

Si el error es menor o igual a la tolerancia, $e \leq T$, la nivelación se considera válida y el error se debe compensar, caso contrario si $e > T$ se debe repetir nuevamente la nivelación.

La tolerancia altimétrica T viene dada por la expresión:

$$T = \pm m * \sqrt{D \text{ [Km]}}$$

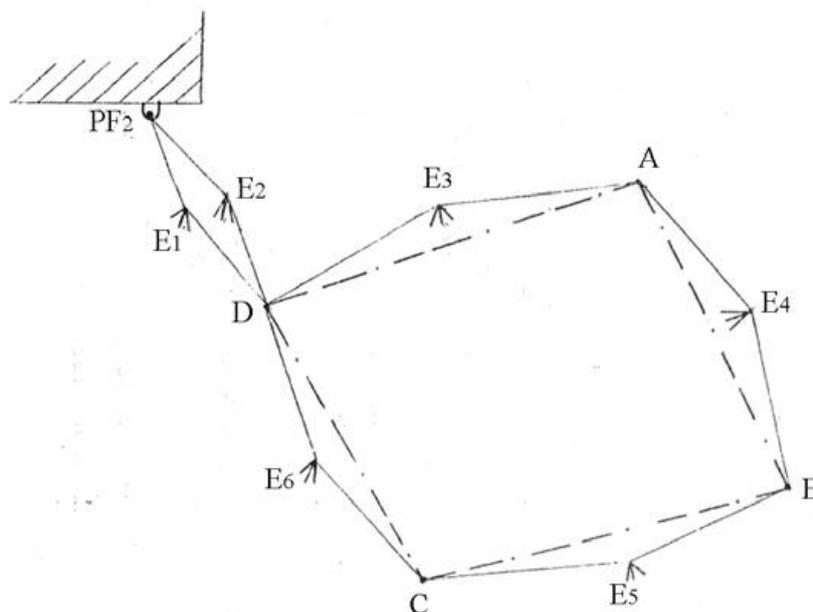
Donde D es la distancia total recorrida (ida y vuelta) expresada en Kilómetros. El factor “ m ” asume valores entre 10 y 30. Tomando estos valores, la unidad de T estará dada en milímetros. $T = [\text{mm}]$.

Debe aclararse que D se calcula por estadimetría y no midiendo con cinta. Recordar que $d = (h_s - h_i) \times 100$ la suma de las distancias parciales d nos dará la distancia D total del recorrido.

Planilla de registro de nivelación geométrica

Para orden y facilidad del cálculo se adoptan planillas en las cuales se consignan las lecturas realizadas. En el siguiente ejemplo se ve cómo resolver primeramente una planilla que permite transportar la cota de un punto fijo PF de cota conocida a un punto A , vértice de un polígono. Paso seguido, se resuelve una segunda planilla de donde se obtienen las cotas de los vértices restantes del polígono.

Figura 5.18: Circuito de nivelación



A continuación, se resuelven dichas planillas con un ejemplo numérico como guía. Cabe aclarar que las lecturas de mira han sido tomadas con un nivel de visual invertida, dando esto como resultado que el hilo superior tenga mayor valor absoluto que el hilo inferior, no modificándose por ello la resolución de la planilla (Tabla 5.2):

Tabla 5.2: Planilla de nivelación de enlace

Estación	Ptos Visados	Distancia [m]	Lecturas de Nivel				Desnivel (+/- ΔZ)	Cotas Provisionarias	Dist. Acum. en [m]	Corrección	COTAS DEFINITIVA [m]
			Atrás		Adelante						
			Hsup.	Hmed.	Hsup.	Hmed.					
			Hinf.		Hinf.						
E1	PF2	70,0	0,609 1,309	0,959			-0,193	16,211	---	---	16,211
	D	71,2			0,796 1,508	1,152		16,018	141,2	-0,002	16,016
E2	D	73,1	0,962 1,693	1,327			+0,197	16,215	287,1	-0,004	16,211
	PF2	72,8			0,766 1,494	1,130					

$D = 287,1m$

$\Sigma\Delta z = 0,004 = e$

$E = +0,004 m$

$T = \pm 15 (D km)^{1/2} = \pm 0,008 m$

Se obtuvo la cota del punto D, ZD= +16,016. La misma se utilizará ahora como cota de arranque de la planilla siguiente, correspondiente al circuito de rodeo (Tabla 5.3):

Tabla 5.3: Planilla de nivelación por rodeo

EST.	P. V.	DIST.	LECTURAS DE MIRAS				DESNI- VEL (+/- ΔZ)	COTA PROVISO- RIA	CÁLCULO DE CO- RRECCIONES		COTAS DEFI- NITIVA
			ATRÁS		ADELANTE				Dist. Acum.	Corr. (mm)	
			hs = hi =	hm =	hs = hi =	hm =					
E3	D	32,2	1,610 1,932	1,772	--	--	+ 0,565	16,016	---	---	16,016
	A	71,2	--	--	1,041 1,372	1,207		16,581	65,3	- 1,1	16,580
E4	A	73,1	1,628 2,119	1,873	--	--	+ 0,749	16,330	164,3	- 3,0	17,327
	B	72,8	--	--	0,875 1,374	1,124		16,699	289,1	- 4,2	16,694
E5	B		0,708 1,409	1,095	--	--	- 0,631	16,023	380,2	- 7,0	16,016
	C		--	--	1,416 2,035	1,726					
E6	C		0,976 1,427	1,201	--	--	- 0,676				
	D		--	--	1,646 2,106	1,877					

$D = 380,2 m$

$\Sigma\Delta z = 0,007 = e$

$T (mm) = \pm 15 (D [km])^{1/2} = \pm 9 mm$

$e = + 7 mm$

$e < T$

En ambas planillas se calcula el error de cierre. Este se obtiene sumando algebraicamente los desniveles ± ΔZ. La suma total de los mismos debería dar cero puesto que se vuelve al punto de partida. Si dicha suma no da cero, se está en presencia de un **error de cierre “e”**.

Si el error de cierre resulta ser menor o igual a la tolerancia, se deben compensar las cotas. Para esta compensación se empleará la expresión.

$$c = - e \cdot (\sum d) / D$$

Donde $\sum d$ = distancia acumulada hasta el punto.

Debe tenerse presente el signo; siempre debe cumplirse que la corrección tenga signo contrario al error.

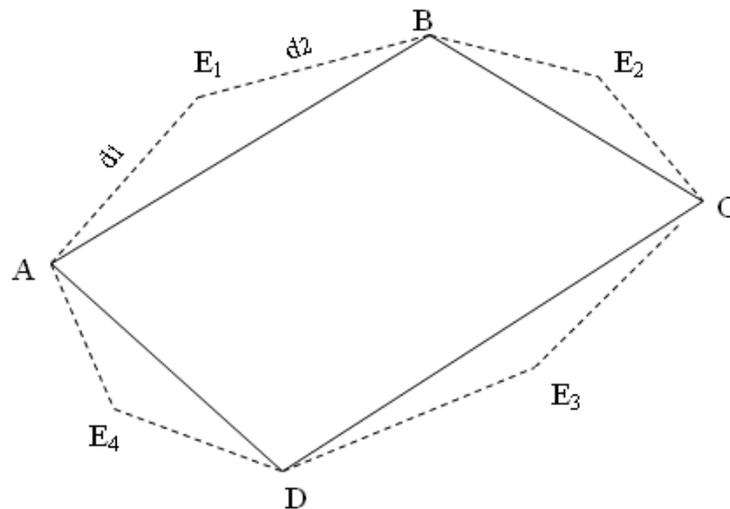
$$C = - e$$

Sumando esta corrección (con su signo) a la cota provisoria se obtiene la cota definitiva.

Como ya se vio anteriormente el punto estación E del nivel debe ubicarse aproximadamente equidistante entre las dos posiciones de mira (atrás y adelante), para compensar el posible error de colimación del instrumento. Una pequeña diferencia en la ubicación de dicho punto E, no afecta en absoluto la precisión de la nivelación, puesto que, aunque exista dicho error de colimación, este resulta insignificante. En la práctica se considera que E debe estar ubicado en un entorno de aproximadamente 5 metros con respecto al centro de la distancia a nivelar. Es por esta razón que para determinar su ubicación la distancia es medida a pasos y no con una cinta.

Otra consideración a tener en cuenta es que el punto E no necesariamente tiene que estar sobre la alineación del lado a nivelar (Figura 5.19).

Figura 5.19: Circuito de nivelación, con los puntos estación de nivel (E)



Las estaciones E pueden estar fuera de los lados y debe cumplirse que las distancias d instrumento-mira difieran entre sí como máximo 5m.

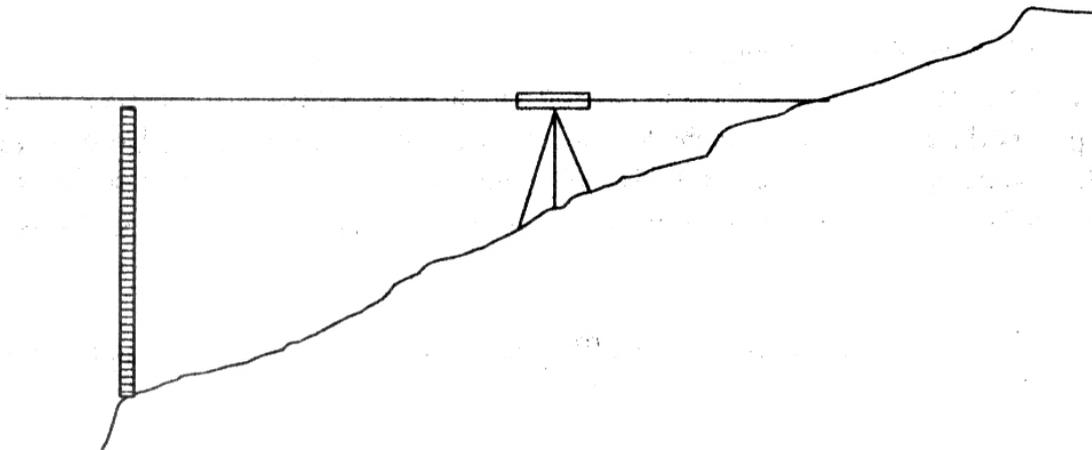
$$d1 = d2 \pm 5m$$

Ventajas y desventajas de la nivelación geométrica

Presenta como principal ventaja que es la más precisa de todas las nivelaciones: siempre que se requiera una buena precisión en el trabajo final deberá recurrirse a este tipo de nivelación.

Presenta como principal desventaja que no es demasiado práctica para ser usada en terrenos quebrados o de fuerte pendiente ya que las visuales se ven limitadas por el suelo o por la longitud de las miras (Figura 5.20).

Figura 5.20: Visual limitada por el relieve y restricción dada por el largo de mira.

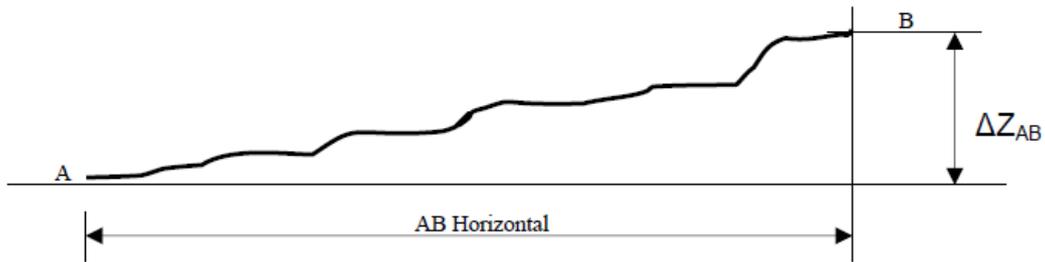


Dentro de esta nivelación se pueden realizar tres modalidades de trabajo:

- **Nivelación de puntos:** es el transporte de cotas, donde como ya se vio se determina la cota de ciertos puntos del terreno que luego servirán de apoyo a otros trabajos de nivelación.
- **Nivelación de Líneas:** A este tipo de levantamientos se los denomina perfiles y es posible conocer el relieve del terreno a lo largo de toda una alineación.
- **Nivelación de Áreas:** aquí el objetivo es conocer el relieve de toda una superficie de terreno. A este tipo de levantamiento de lo denomina nivelación areal.

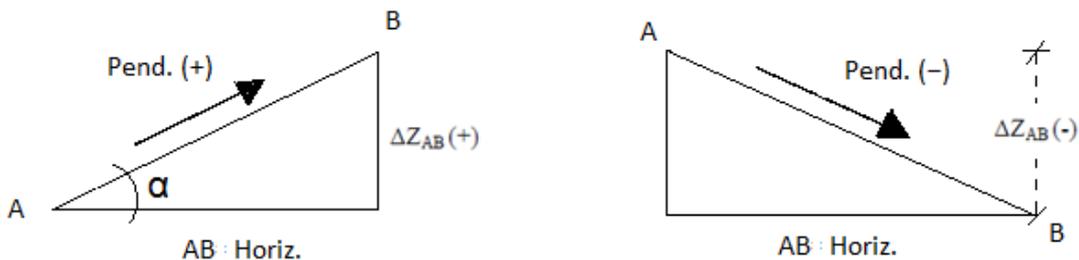
Pendiente

Habiendo visto ya los tres tipos de nivelación (barométrica, trigonométrica y geométrica), y que por aplicación de algunas de ellas podemos calcular desniveles, definiremos el concepto de pendiente diciendo que la pendiente entre dos puntos es la relación entre el desnivel existente entre ambos con la distancia horizontal que los separa (Figura 5.21).

Figura 5.21: pendiente entre A y B

$$\text{Pendiente AB (\%)} = (\Delta Z_{AB} / AB_{HORIZ}) \times 100$$

Por ser este un término adimensional, se suele multiplicar por 100 y expresarlo en porcentaje (%). La pendiente en por ciento indica cuantos metros sube o baja el terreno por cada 100m medidos en horizontal. La pendiente es positiva cuando en el sentido de marcha, el terreno sube (B tiene mayor cota que A). Por el contrario, será negativa cuando en el sentido de marcha, el terreno baja (cota de B menor que cota de A).

Figura 5.22: significado del signo de la pendiente

Si se considera α , el ángulo de la inclinación del terreno natural con respecto al horizonte, resulta que la pendiente es la tangente del ángulo α .

$$\text{Tg}\alpha = \Delta Z_{AB} / AB_{HORIZ} = \text{Pend. AB}$$

Perfiles

El levantamiento de perfiles se realiza previamente a la construcción de una obra de tipo lineal. Se llama así a ciertas obras donde su ancho es muy pequeño comparado con la longitud de las mismas (Ejemplo: canales, caminos, etc).

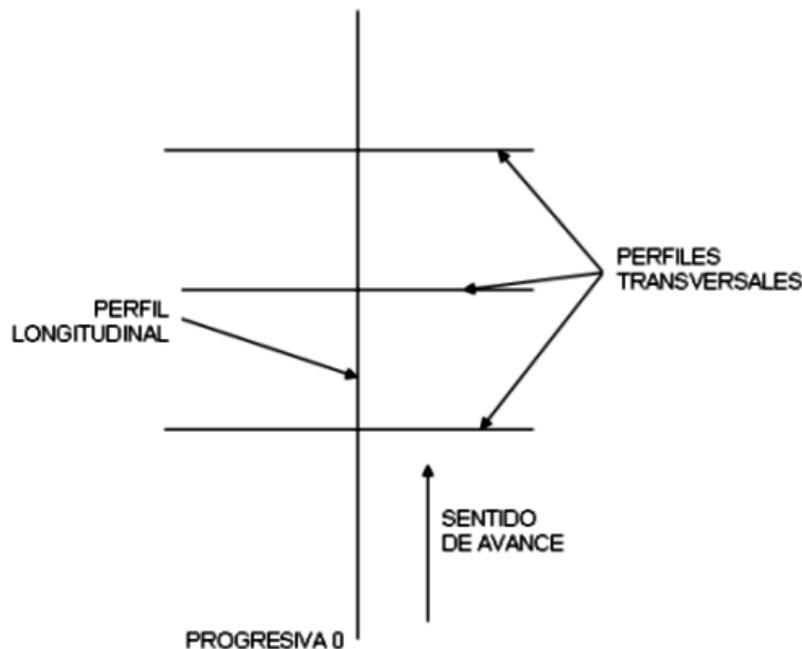
Mediante el levantamiento de perfiles, es posible conocer la forma y dimensiones del terreno en el que se requiere realizar la obra, compararlo con el proyecto de ejecutar y así poder calcular los volúmenes de suelo a mover (excavaciones y rellenos).

El objetivo en un levantamiento de perfiles es llegar a representar en el plano, lo más fielmente posible, el relieve del terreno a lo largo de una franja que contendrá a la obra.

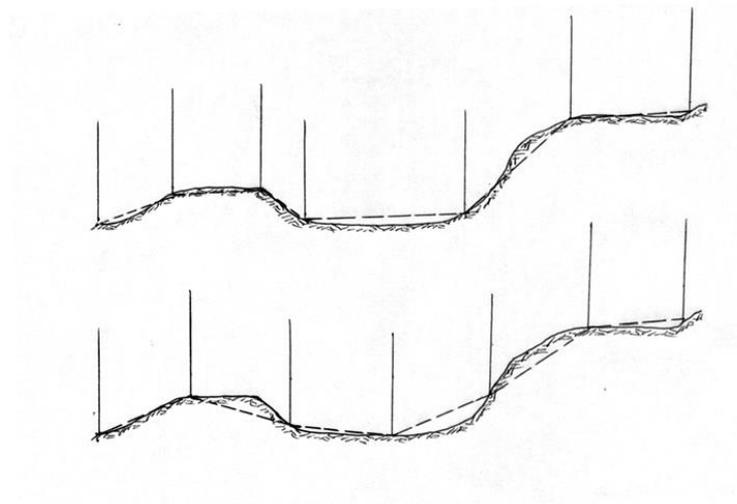
Para esto se realizan los levantamientos a lo largo del eje de la futura obra, obteniendo Cotas de puntos que sean representativos del terreno, es decir, aquellos en donde aparezca un cambio en la pendiente. El perfil que se va obteniendo con esta metodología se lo llama longitudinal. Al mismo tiempo se efectúan relevamientos transversales que permiten conocer cómo será la forma del terreno a ambos lados del eje central. Estos levantamientos perpendiculares al longitudinal se los llama perfil transversal.

A la distancia recorrida durante el levantamiento de los perfiles se la denomina **progresiva**, tomando esta el valor cero en el origen del levantamiento y aumentando en el sentido de avance. Dicha progresiva se va midiendo con cinta y sirve además para determinar la ubicación de los perfiles transversales.

Figura 5.23: Perfiles y progresivas



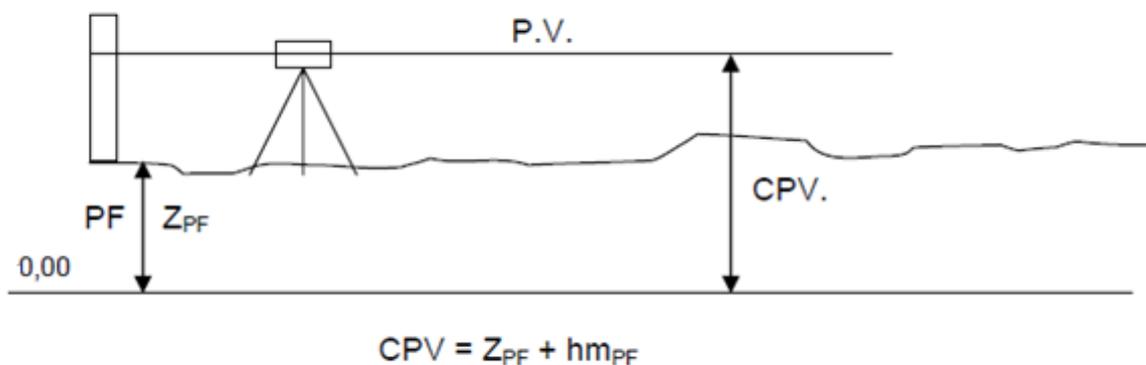
Representar exactamente el relieve del terreno es una operación prácticamente imposible, dado que habría que calcular la cota de innumerables puntos ubicados uno a continuación de otros. Es por esto que en perfiles se realiza una simplificación y que consiste en tomar la cota de puntos representativos del terreno, es decir, aquellos en que existe un cambio importante en la pendiente y suponer que la variación del relieve entre puntos es lineal.

Figura 5.24: Perfiles levantados con distinta ubicación de las miras

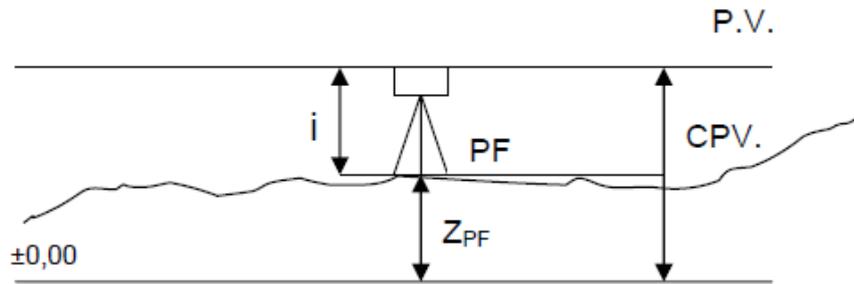
En la Figura 5.24 se ve como el mismo perfil levantado con miras ubicadas en puntos representativos del terreno (figura de arriba) logra mayor correspondencia con la realidad que el levantamiento ubicando miras a una distancia fija (figura de abajo).

Cota del plano visual

Las cotas de los puntos se calculan determinando primeramente la cota de la visual. A dicha cota se la denomina: Cota del Plano Visual “CPV”. Esta CPV es la cota del plano horizontal que pasa por el centro del anteojo, a la altura del hilo medio y se obtiene realizando lectura de hm sobre un punto de cota conocida.

Figura 5.25: Cota del Plano Visual “CPV” utilizando 1 mira

Otra posibilidad de calcular la CPV sería estacionando el nivel sobre un punto de cota conocida PF y tomar la altura del instrumento (i).

Figura 5.26: Cota del Plano Visual “CPV” utilizando la altura del instrumento “i”

$$CPV = Z_{PF} + i$$

Siendo i = Altura del Instrumento: distancia desde la cabeza de la estaca que materializa a PF hasta el centro del anteojo.

Una vez obtenida la CPV, se procede a calcular la cota de los puntos del perfil restando a la CPV las lecturas del hm en cada punto. De esta manera se levantan puntos mientras se tenga visual sobre la mira. En el momento en que ya no se puede leer (ya sea por exceso de distancia o porque la visual cae fuera de la mira) se corre el nivel a una nueva estación considerando ahora el último punto que se calculó su cota como punto para determinar un nuevo CPV y se repite la operación anterior.

Es común en perfiles tomar las lecturas de mira al centímetro. Mayor precisión no se justifica porque, debemos recordar, el objetivo final de este trabajo es el movimiento de suelos.

Los perfiles se representan a escala. Se fija una escala horizontal para representar las progresivas y distancias horizontales (en el perfil transversal) y una escala vertical, por lo general mayor que la horizontal, para representar las cotas. Esto es a los efectos de resaltar las diferencias de altura.

También se establece un plano de comparación, PC, para no tener gráficos de perfiles excesivamente “altos” que pudieran salir por fuera de la hoja de dibujo.

Ejemplo de aplicación

A continuación, se resuelve un ejemplo de perfil longitudinal de un tramo de un proyecto de un canal de riego. La longitud del mismo es de 2500m, pero se toma para el ejemplo solo una estación de nivel (estación II) entre progresivas 150m y 300m. Se representan además los perfiles transversales correspondientes a las progresivas 180m y 240m.

Tabla 5.4: Planillas del Perfil Longitudinal

ESTACIÓN	PROGRESIVAS	HILO MEDIO Hm.	CPV	COTA DEL PUNTO
II	150	1,30	19,80	+ 18,50
	180	1,63		+ 18,17
	240	1,98		+ 17,82
	300	2,23		+ 17,57

Tabla 5.5: Planilla del Perfil Transversal, Progresiva 180m

DISTANCIA DEL EJE	hm	CPV	COTA DEL PUNTO
0.00	1,63	+ 19,80	+ 18,17
3.00	1,75		+ 18,05
6.00	1,87		+ 17,93
9.00	1,99		+ 17,81
- 3,00	1,79		+ 18,01
- 6,00	1,61		+ 18,19
- 9,00	1,47		+ 18,33

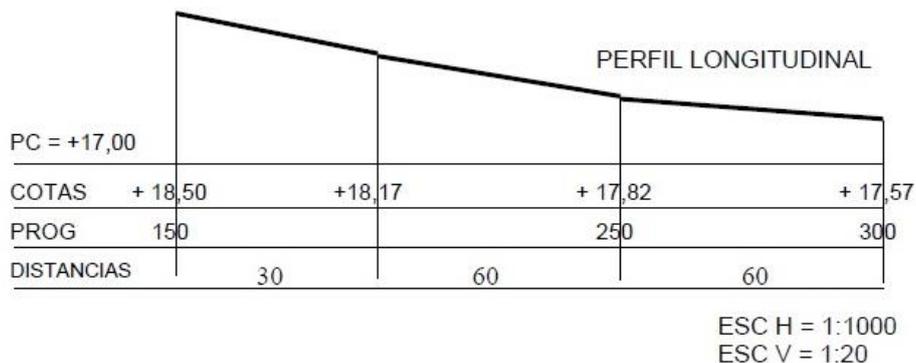
Tabla 5.6: Planilla del Perfil Transversal, Progresiva 240m

DISTANCIA DEL EJE	hm	CPV	COTA DEL PUNTO
0,00	1,98	+ 19,80	+ 17,85
3,00	1,87		+ 17,93
6,00	1,71		+ 18,09
9,00	1,55		+ 18,25
- 3,00	1,81		+ 17,99
- 6,00	1,72		+ 18,08
- 9,00	1,65		+ 18,15

Representación de los perfiles

A través del proceso de los datos obtenidos a campo, se obtienen las cotas de los puntos, que se representan de acuerdo con una Escala Horizontal (E = 1:1000 en la Figura 5.27) y Escala Vertical E= 1:20. Nótese que la Escala Vertical es mucho mayor, lo cual permite resaltar los detalles del relieve.

Figura 5.27: Representación del Perfil Longitudinal



Análogamente se procede para los perfiles transversales, eligiendo una Escala Horizontal mayor que la empleada para la representación del perfil longitudinal (Figura 5.28 y Figura 5.29).

Figura 5.28: Representación del Perfil Transversal en la Progresiva 180m

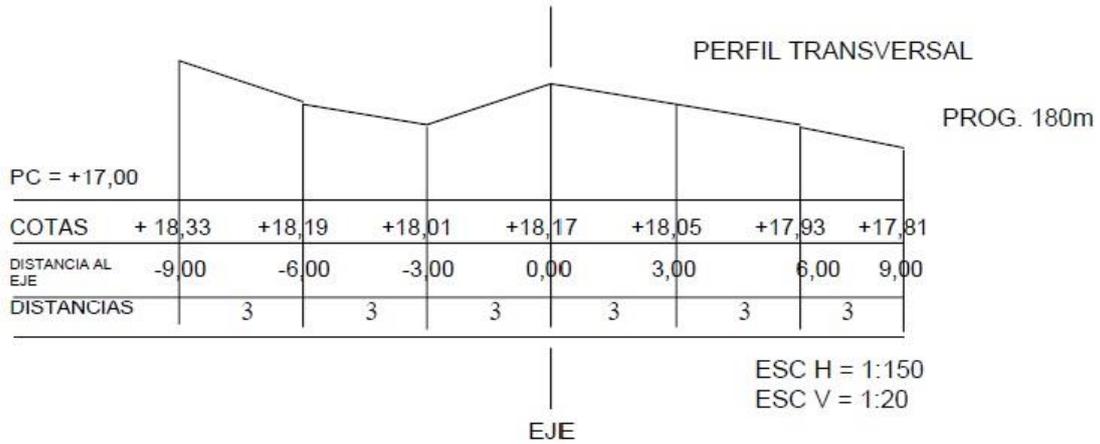
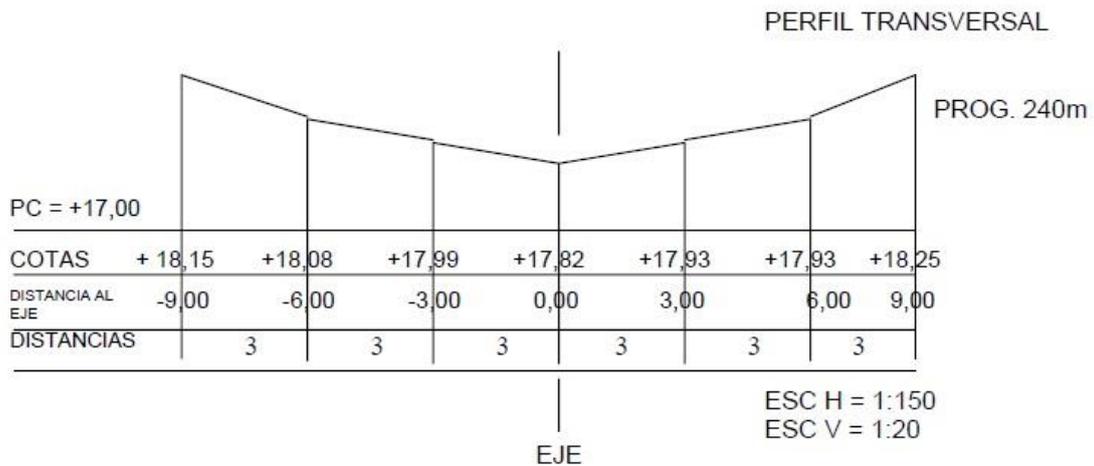


Figura 5.29: Representación del Perfil Transversal en la Progresiva 240m



Aplicaciones

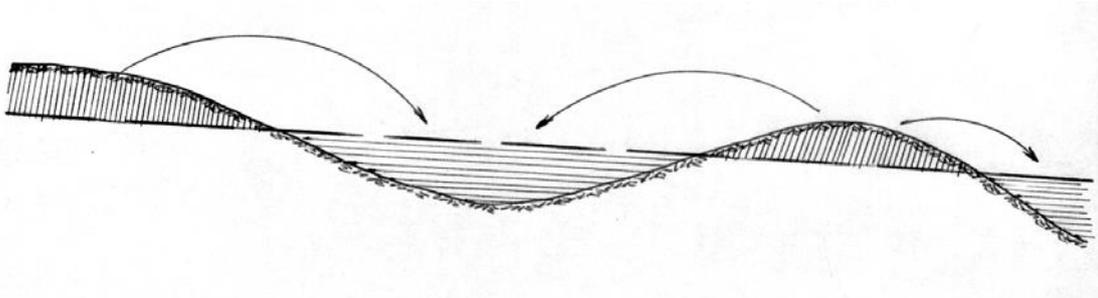
Se recurre al levantamiento de perfiles en:

- Construcción de canales de desagües o colectores
- Redes de drenaje
- Construcción de Caminos
- Construcción de Ductos

Siempre que se deba realizar este tipo de obras, será necesario conocer previamente el relieve del terreno y así minimizar el movimiento de suelo. En lo posible se tratará de equilibrar los

Volúmenes de desmonte y relleno. Es decir, el suelo que se extrae de determinadas zonas elevadas sea suficiente para rellenar otras zonas bajas.

Figura 5.30: Equilibrio de corte y relleno



En línea de trazos se representa el recorrido del futuro canal o camino y puede verse como el exceso de suelo en determinadas zonas es utilizado para rellenar las partes bajas del terreno. En las Figuras siguientes se puede ver el corte transversal de un canal y un camino rural. En ambos aparece en línea más gruesa el relieve del terreno.

Figura 5.31: Perfil transversal de un canal de riego

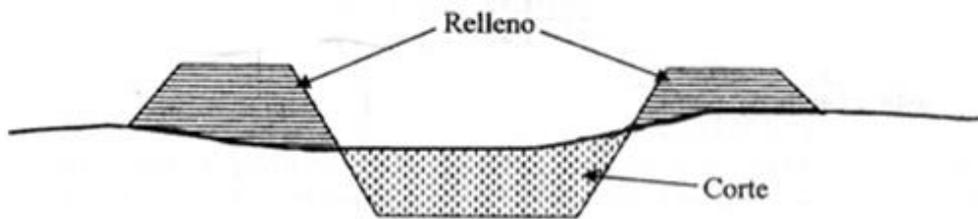


Figura 5.32: Perfil transversal de un camino rural

