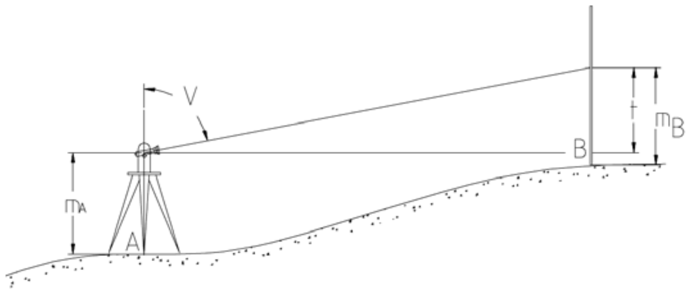
TEMA 8 – MEDICIÓN INDIRECTA DE NIVELES

1. NIVELACIÓN TRIGONOMÉTRICA O POR PENDIENTES

Este tipo de nivelación se utiliza en terrenos quebrados o sea con fuertes variaciones de pendientes. El instrumento principal utilizado es el teodolito para poder dirigir visuales inclinadas y más precisamente el circulo vertical del este instrumento.



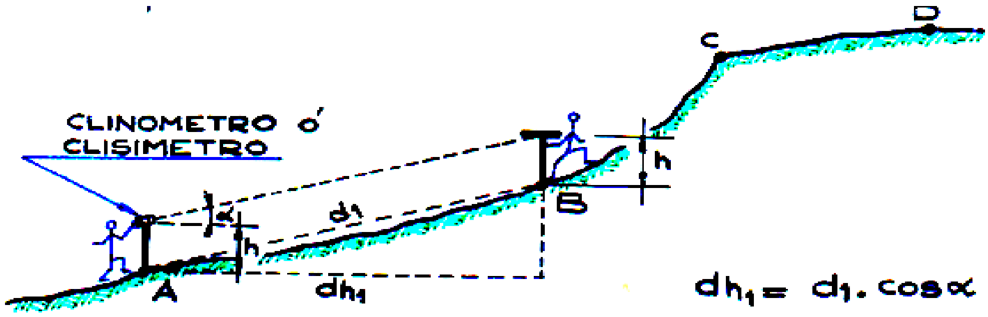
Sin embargo, los clisímetros, propiamente dichos, son esencialmente altimétricos, lo mismo que los niveles, así como con éstos se dirigen visuales horizontales, con los clisímetros, pueden dirigirse de una pendiente determinada. Se utilizan en cualquier trabajo altimétrico y ya vimos el modo de calcular el desnivel entre dos puntos, pero son particularmente útiles para el replanteo, en el terreno, de una rasante, a la que hemos de dar una pendiente determinada, como, por ejemplo, en el trazado de un camino.

Los clisímetros pueden ser de muy diversas precisiones, lo mismo que los niveles; van provistos de anteojo, pero también los instrumentos ligeros pueden ir desprovistos de él y tienen la misma finalidad que los niveles expeditos útiles, como ellos, en tanteos y reconocimientos.

Pequeños instrumentos más expeditivos:

1.1. ECLÍMETRO O CLISÍMETROS o INCLINÓMETROS.

El fundamento de la misma consiste en **dirigir visuales inclinadas a señales de altura conocida**. Puede representarse entonces la siguiente situación que vimos en el Tema 4 referidos al el clinómetro o clisímetro para medición en pendiente



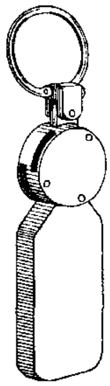
1.1.1. Clisímetros de anteojo.

Hoy han dejado de construirse clisímetros de anteojo exclusivamente altimétricos. El antiguo clisímetro era análogo a un nivel de plano del primer tipo, con anteojo reversible de collares y nivel fijo, pero que a uno de los soportes se le puede dar amplios desplazamientos por medio de un tornillo de presión y otro de coincidencia.

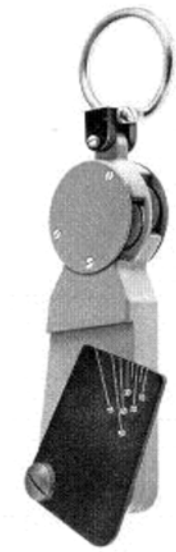
Estos desplazamientos se miden con un nonio sobre una regla; la unidad de la escala suele ser la centésima de pendiente, apreciando el nonio la milésima; en algunos clisímetros perfeccionados puede llegarse a apreciar hasta la diezmilésima.

La escala tiene dos graduaciones a partir de cero, una hacia arriba, señalada con el signo menos, y la otra hacia abajo, que corresponde a las pendientes positivas; también lleva dos nonios, uno hacia arriba y otro hacia abajo, con el cero común, debiendo usarse uno u otro según sea la visual, descendente o ascendente; la lectura cero debe corresponder a la visual horizontal.

1.1.2. Eclímetros o clisímetros expeditos



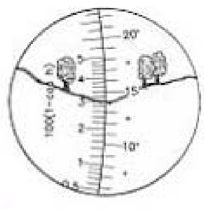
- **Clisímetro suizo Meridian.** Como ejemplo de estos clisímetros, de los que existen gran número de modelos, se representa en la figura el clisímetro suizo Meridian, constituido por dos escalas de pendiente, una ascendente y otra descendente, grabadas en un retículo embutido en una caja circular, abierta lateralmente, para permitir mirar a su través. Las escalas quedan verticales mediante un contrapeso y una suspensión cardan, manteniendo el instrumento colgado de una anilla. Delante de cada escala lleva una lupa, ambas visibles en la figura, y por ir situadas en el foco se proyecta la imagen en el paisaje. El cero de las dos escalas se halla a la misma altura y la visual que determinan será horizontal.

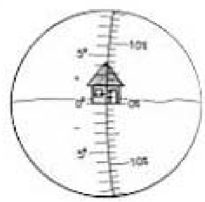


Colocado de modo que las lupas queden a una altura <u>a</u> del terreno y estacionando una mira de tablillas, en la que ésta quede a la misma altura <u>*a*</u>, al mirarla con los dos ojos abiertos, pero con uno aproximado a la lupa, veremos proyectarse la escala sobre la mira y la división que señale la tablilla nos marcará la pendiente del terreno.

Se emplean para trabajos de replanteo, en proyectos de calles, caminos, levantamientos topográficos menores, nivelaciones, etc.

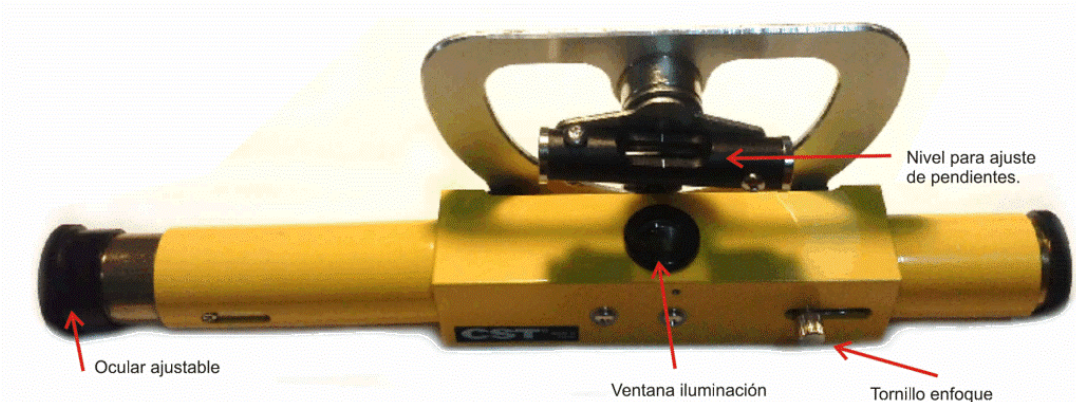
- **Eclímetro Óptico de Mano**. Es apropiado para mediciones rápidas y cómodas de ángulos de inclinación, permitiendo, la determinación de alturas por ejemplo de árboles o edificios, para la determinación de inclinaciones necesarias para el montaje del control de antenas directivas y móviles, para la determinación de alturas de paredes e inclinación de perforaciones en canteras, estudios agrícolas, levantamientos de perfiles longitudinales y transversales para la reducción de distancias inclinadas, etc. Limbo vertical oscilante en el rodamiento de bolas con 4 graduaciones: 400^g, %, reducción, 360°. Insensible al viento por su caja hermética. Enfoque simultáneo del objeto y de las escalas y lectura exacta de limbo ($0,1^g/0,1°$) por medio de un sistema óptica de precisión. Lectura rápida y segura de las escalas por una amortiguación liquida muy efectiva; exactitud de



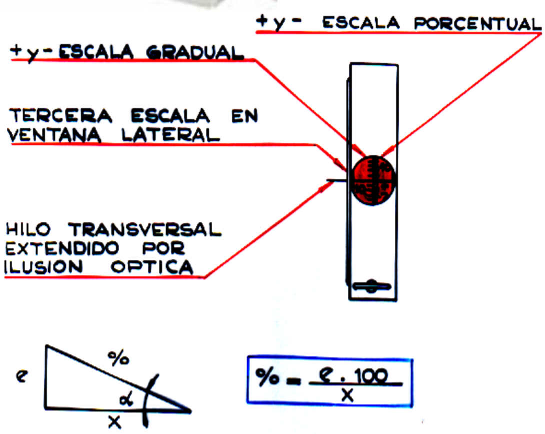


medición: +/- 0,2°.También se puede utilizar como nivel automático a mano para nivelaciones porque la línea cero oscila automáticamente a la posición horizontal

- **Nivel de Mano con semicírculo.** Marca Abney CST**.** Óptica 5x aumentos. Retículo de 3 hilos de K=100. Clinómetro doble escala: grados (-90-0+90) y -100% - 0 +100%. Precisión lectura de pendiente en grados: nonius de 10'. Precisión lectura de pendiente en porcentaje: lectura directa de 5% en 5%. Radio del arco de escalas 51 mm. Longitud 197 mm, ancho 30 mm, alto 67mm. Peso 230 gr.

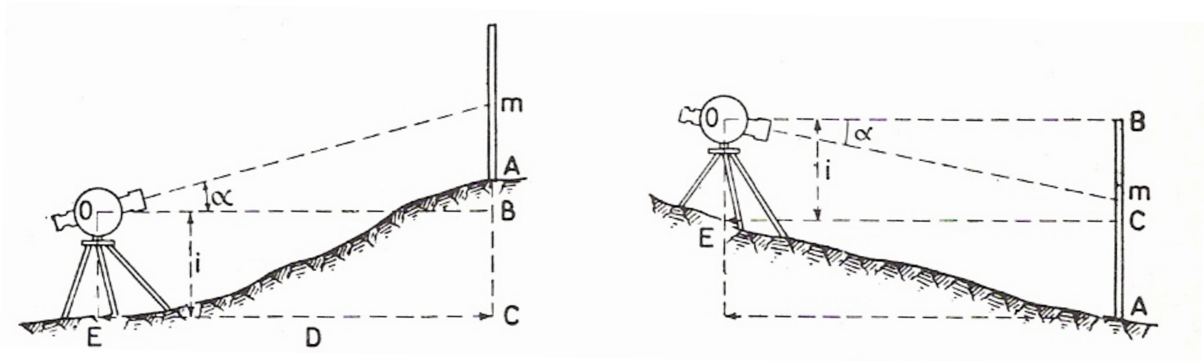


- **Clinómetros** SCM360% - SILVA. Construcción en aluminio anonizado, con cordón. Graduación: doble escala 0-90º y 0-150%. Precisión lectura óptica (observación): Máx.±0.25º del ángulo real. Precisión lectura por esfera: Máx ±1% . Tamaño: 75x53x16 mm. Peso: 120 gr.



1.2. NIVELACIÓN SIMPLE POR EJES CORTOS.[1]

Para el cálculo del desnivel hemos tomado la altura de horizonte o distancia cenital de la visual y la altura de mira obtenida con el hilo central del retículo, habremos medido además, por medio de una cinta o metro de mano, la altura del instrumento tomada desde el eje del anteojo a la estaca o señal del suelo.



Sea E el punto de estación y A aquel en que se coloca la mira, a una distancia D obtenida por medio de distancia estadimétrica (lo veremos más adelante), y cuyo desnivel, respecto a E, tratamos de hallar. Supongamos primero un terreno ascendente en el sentido E a A. Una visual o ***m***, dirigida a la mira, formará un ángulo α con la horizontal medido con el eclímetro; la lectura *m,* obtenida en la mira, nos determina la longitud ***mA*** contada a partir del suelo; conocemos también la altura ***i*** del instrumento, medida con una cinta o metro de mano, desde el eje del anteojo a la estaca o señal del suelo. La altura i será igual a OE o a BC; la incógnita es AC, desnivel entre ambos puntos. La inspección de la figura nos indica que:

$$AC = mB + BC - mA$$

teniendo en cuenta que

$$mB = D \operatorname{tg} \alpha = t$$

valor que ha de calcularse, al que denominaremos ***t*** y sustituyendo BC y *m*A por sus valores *i* y m obtendremos como fórmula del desnivel de E a A en el caso de terreno ascendente.

$$Z_{AE} = t + i - m$$

Si el terreno fuese descendente, conservando la misma notación, la segunda figura nos indica que en valor absoluto:

$$AC = Bm - BC + mA; \quad \text{o sea } -AC = -Bm + BC - mA;$$

pero teniendo en cuenta que al ser el terreno descendente el desnivel de E a A debe considerarse como negativo y que el término t también lo es, por medirse α bajo el horizonte, tendremos con su signo, también para este caso.

$$Z_{AE} = t + i - m$$

Esta expresión del desnivel es, por tanto, general, y dando a *t* el signo más (+) si la visual es ascendente, o el menos (-) si es descendente, obtendremos el desnivel Z con el signo que le corresponda, positivo si A está más alto que E y negativo si está más bajo.

[1] F. Dominguez García-Tejero. Topografía General y Aplicada

No siempre se calcula el desnivel de A, punto en que se coloca la mira, con respecto a E, lugar de estación, sino que, también con frecuencia, se determina el desnivel de éste respecto al primero, cuyo valor será el mismo de antes, pero con signo contrario, o sea en todos los casos y con su signo.

$$\mathbf{Z_{EA} = -(t + i - m)}$$

Al término ***i - m*** se le denomina ***cabeza de mira**,* considerado como correctivo de *t;* de aquí que, al dirigir la visual a la mira, sea aconsejable, para el cálculo del desnivel, enrasar el hilo horizontal del retículo con la lectura igual a la altura del instrumento, por lo que al ser ***i = m*** y anularse las cabezas de mira, se simplifica el trabajo de gabinete.

Téngase en cuenta que por pequeño que sea el levantamiento que haya de hacerse, siempre habrá de contarse por millares el número de puntos que se tomen, lo que supone una economía de muchas horas de trabajo; por eso es aconsejable anular, siempre que sea posible, la cabeza de mira, consiguiéndose, además. tener comprobación directa, en el campo, del trabajo que realizamos, ya que deberá obtenerse el mismo ángulo α, con signo contrario, al visar desde un punto B a otro A, al primeramente observado al visar B desde A, comprobación que no se cumple si se toman de modo arbitrario las cabezas de mira. En caso de obtenerse distancias cenitales, la directa y la recíproca, deberán sumar 180º o 200^g

La altura del instrumento se determina siempre con mayor imprecisión que la lectura de mira, sobre todo en terrenos en pendiente, a poco que nos desviemos, en la medida, de la señal del suelo, máxime estando entre las patas del trípode. Por eso, en algunas ocasiones, puede estar indicado, para hallar el desnivel entre dos puntos A y B, estacionar en un tercer punto intermedio E, verificándose siempre con su signo:

$$Z_{BA} = Z_{EA} + Z_{BE}$$

y sustituyendo estos valores por las expresiones antes halladas:

$$\mathbf{Z_{BA} = - t_A - i + m_A + t_B + i - m_B = (t_B - t_A) - (m_B - m_A)}$$

eliminándose la altura *i* del instrumento por ser común a ambas medidas.

Sin embargo, así corno en la nivelación geométrica se usa preferentemente el método del punto medio, en la nivelación por pendientes se utiliza, casi exclusivamente, la del punto extremo; la razón es que por este método suele hacerse la altimetría simultáneamente a la planimetría y, por tanto, interesa dar cota al punto de estación, que ha de levantarse planimétricamente, lo que no excusa tomar la altura del instrumento.

Por, otra parte, las miras utilizadas por los niveles permiten apreciar el milímetro, error fácil de superar al medir la altura del instrumento, lo que no ocurre en la nivelación por pendientes, donde los errores son mucho mayores

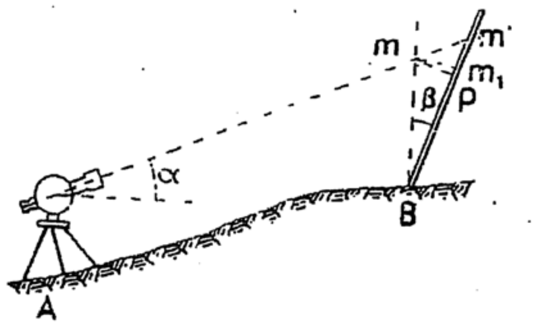
La distancia D horizontal, se obtiene por lo general en forma inclinada, acompañando el terreno (d). Luego deberá hacerse la reducción al horizonte obteniéndose así D (D= d . cos α). El uso de distanciómetros en la determinación de d, simplifica considerablemente la operación, pues no debe olvidarse 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, pudiendo llegar a D=10km. 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.

1.2.1. Error procedente de falta de verticalidad en la mira.

Estacionado el instrumento en A dirigiremos una visual con una altura de horizonte α, a una mira colocada en B, inclinada un ángulo β con respecto a la vertical.

La visual interceptará a la mira en un punto m´, en vez de hacerla a una altura m del suelo si la lectura hubiera sido correcta. El error será la distancia:



m´m1 entre el punto de lectura y el que ocuparía el m al girar la mira.

La longitud del arco mm_1 llamando m la altura correcta en la misma, será:

$$mm_1 = m \cdot \beta''/ \rho''$$

y bajando desde m la perpendicular mp a Bm_1, en el triángulo *mpm´:*

$$pm' = mp \cdot \mathrm{tg}\,(\alpha + \beta)$$

el error es menor que el primer miembro y *mp* es menor que el arco antes calculado, por lo que se adopta como fórmula del error

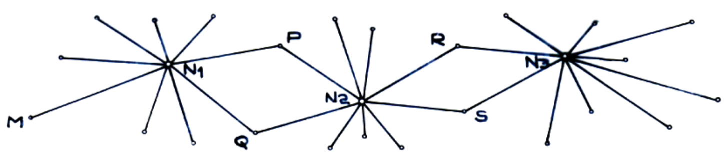
$$\epsilon_m < (m \cdot \beta''/\rho'') \cdot \mathrm{tg}\,(\alpha + \beta)$$

Operando con un nivel α será cero, y como las miras de nivelación van provistas de plomada o de nivel esférico β es siempre pequeño; admitiendo un caso desfavorable de que *m* sea el máximo de 3 metros y β = 1º, el error resultante con nivel, aplicando la fórmula anterior, resulta inferior a 1 milímetro, razón por la que se ha prescindido del error procedente de falta de verticalidad en la mira en la nivelación por alturas; pero no ocurre igual en la nivelación por pendientes, especialmente en terrenos quebrados en que α puede alcanzar valores grandes, y en los que β también puede ser crecido por ir desprovistas de nivel o plomada la mayor parte de las miras taquimétricas.

- Suponiendo, en un caso extremo, ***m*=3 metros; α=15° β=3°**, la. fórmula anterior nos acusa un error de **51 mm**., nunca despreciable.
- Deberá, por tanto, extremarse la precaución en la verticalidad de la mira, en terrenos quebrados y la visual habrá de dirigirse, en estos casos, lo más baja posible, ya que el error es proporcional a m.

1.2.2. Itinerario altimétrico por pendientes.

El itinerario por pendientes se hace casi siempre simultáneamente al itinerario planimétrico y, lo mismo que éste, será cerrado o encuadrado; en este caso se conocerá la cota de partida y la de llegada, obtenidas previamente por una nivelación por alturas o por otra nivelación por



pendientes.
A veces, lo mismo planimétrica que altimétricamente, al mismo tiempo que se hace el itinerario se efectúan radiaciones en los puntos de estación, levantándose a derecha e izquierda del itinerario seguido una faja más o menos ancha de terreno, operación que, cuando se efectúa con taquímetro, constituye el levantamiento taquimétrico de que más adelante hablaremos.

1.2.3. Error de cierre y error kilométrico.

Lo mismo que en la nivelación por alturas se establece la tolerancia en el cierre **c** en función del error kilométrico $\mathbf{e_k}$ por la fórmula

$$c = \mathbf{e_k}\sqrt{K}$$

obtendremos, por tanto, el error kilométrico de un itinerario, dividiendo el error de cierre, expresado en milímetros, por la raíz cuadrada de la longitud, expresada en kilómetros; interesa por esto señalar el máximo error kilométrico tolerable, debiendo repetir el trabajo en caso de mayor discordancia; de ser aceptable, se compensa el itinerario repartiendo el error de cierre entre los desniveles parciales, en general a partes iguales.

Ejemplo:

Para determinar el error kilométrico tolerable supongamos se utiliza un taquímetro con anteojo de 25 aumentos, nivel de 30″ de sensibilidad y 30″ de apreciación en el eclímetro; con el retículo de dos hilos, constante diastimométrica 100 y miras de centímetro; admitiremos, además, que ha de operarse en terreno con pendientes hasta de 5°, siendo de temer errores de verticalidad en la mira hasta de 2°, y por las razones indicadas anteriormente supondremos que la longitud de los ejes sea de 150 metros; con estos datos se pretende hallar la tolerancia en el error kilométrico para poder dar el trabajo como bien efectuado.

En la fórmula del desnivel entre dos puntos $Z_A = t + i - m$ intervienen tres sumandos, en cada uno de ellos se comete un error, y designando a los máximos admisibles por ϵ_t, ϵ_i y ϵ_m, respectivamente, el máximo error de una nivelada será $e < \sqrt{\epsilon_t^2 + \epsilon_i^2 + \epsilon_m^2}$
Para el cálculo de estos errores elementales precisa conocer previamente el error angular de una visual, que será función del error de verticalidad de eje, del error de puntería y del error de lectura en el eclímetro.

Error de verticalidad.– El error de verticalidad en lecturas cenitales es, según sabemos:

$$\epsilon_v < \frac{s''}{3} = \frac{30}{3} = 10''.$$

Error de puntería.– En la evaluación a la estima de fracciones de división de mira el error de puntería será:

$$\epsilon_p < \frac{50''}{A}\left(1 + \frac{4\,A}{100}\right) = 4''.$$

Error de lectura.– Como en todo limbo será 2/3 de la apreciación, es decir, 20″ en este caso y tomándose el promedio de las lecturas de los dos nonios, habrá que dividir por $\sqrt{2}$, o sea:

$$\epsilon_{l} < \frac{20}{\sqrt{2}} = 14''.$$

Error angular.— El error angular expresado en segundos será:

$$e_a < \sqrt{10^2 + 4^2 + 14^2} = 18'' .$$

Conocido el error angular del instrumento en lecturas, cenitales, procederemos a calcular los tres errores que intervienen en la fórmula del desnivel.

Cálculo de ϵ_t,— El error de t será la diferencia entre el valor hallado y el correcto, el primero es D'tg α' y el verdadero será D tg α.

En la medida de la distancia reducida D, medida con mira de centímetros, anteojo de 25 aumentos y constante diastimométrica 100, puede cometerse un error máximo (véase cuadro de la página 147), del 0,35 por 100 pero además, por ser el terreno ondulado, con visuales hasta de 5° sobre el horizonte y admitir que la mira pueda inclinarse hasta 2°, se comete un nuevo error, que en las peores condiciones llegaría al 0,30 por 100, según deducimos en el cuadro de la página 149. Ambos errores se suman y el máximo admisible será $\sqrt{0{,}35^2 + 0{,}30^2} = 0{,}46$ por 100.

Haremos, por tanto, $D' < D + 0{,}0046\ D$; α será igual al verdadero valor α más el error angular calculado, y por tanto:

$$\epsilon_t < D' \operatorname{tg} \alpha' - D \operatorname{tg} \alpha < (D + 0{,}0046\ D) \operatorname{tg} (\alpha + e_a) - D \operatorname{tg} \alpha .$$

Dando a D el valor de 150 m que se ha admitido, a α el de 5° y a e_a el de 18″ que acabamos de calcular, se obtiene:

$$\epsilon_t < 150{,}69 \operatorname{tg} 5^\circ 18'' - 150 \operatorname{tg} 5^\circ = 0{,}074 \text{ m.}$$

Cálculo de ϵ_m.— Como consecuencia de la inclinación de la mira hasta 2° con visuales de 5° sobre el horizonte y admitiendo alturas de mira hasta de 3 metros, se cometerá un error:

$$\epsilon < \frac{7200''}{206265} \times 3 \times \operatorname{tg} (5 + 2)^\circ = 0{,}013 \text{ m.}$$

Determinación de ϵ_i.— En la medida de la altura del instrumento admitiremos pueda cometerse el error de 1 centímetro, que será el menor de los tres que venimos hallando.

Error kilométrico.— En una visual de 150 metros el máximo error que pueda cometerse será:

$$e < \sqrt{\epsilon^2{}_t + \epsilon^2{}_m + \epsilon^2{}_i} = \sqrt{74^2 + 13^2 + 10^2} = 76 \text{ mm.}$$

y como en un kilómetro habrán de levantarse 7 ejes:

$$e_K < 76 \sqrt{7} = 201 \text{ mm.}$$

admitiremos, en números redondos, como error de cierre:

$$c < 200 \sqrt{K} \text{ mm.}$$

Si los ejes fuesen más cortos mejoraría el cierre, lo que pone de manifiesto la distinta manera de comportarse un itinerario planimétrico, en cuanto al error angular y uno altimétrico, por lo que deberá en cada caso compaginarse una y otra circunstancia, en cuanto a la longitud de las visuales en relación con las precisiones que se exijan.

1.3. NIVELACIÓN TRIGONOMÉTRICA A GRANDES DISTANCIAS.

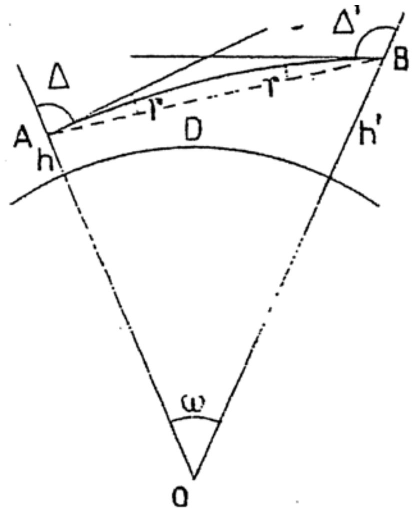
1.3.1. Determinación del coeficiente de refracción.

Se emplea este método en las triangulaciones geodésicas y topográficas a distancias que en el primer caso pueden ser de decenas de kilómetros, y en el segundo, generalmente, de uno a tres. En uno y otro caso es indispensable, para calcular el desnivel, tener en cuenta la **esfericidad de la tierra y el coeficiente de refracción**.

La primera es conocida, pero no así el segundo, que varía con las condiciones atmosféricas, y en alguna ocasión será preciso determinarle. Esto, sin embargo, no es frecuente en topografía; ya que a distancia de 5.000 metros, que rara vez se alcanzará en operaciones topográficas, tomando como coeficiente de refracción el valor medio 0,13 deducíamos, aun admitiendo pudiese variar dicho promedio en un 50 por 100, que el error cometido no sería sino de 7".

Este error aumenta con la distancia, y por ello indicaremos el medio de determinarle experimentalmente en un momento determinado, si bien el método sea más propio de geodesia que de topografía.

Consiste en estacionar en dos vértices geodésicos lo más alejados posible y dirigirse recíprocamente dos visuales simultáneas, lo que puedan considerarse como tales; es necesario además conocer la longitud D del lado geodésico que les une.



Al estacionar el teodolito en un punto A y dirigir la visual a otro B, el rayo luminoso seguirá la dirección de un arco, que ya sabemos es una circunferencia, y la distancia cenital Δ observada, no será la correspondiente a la cuerda AB, sino a la tangente a la curva, cometiéndose un error ***r***, denominado ángulo de refracción.

A su vez al estacionar en B y visar a A, obtendremos una distancia. cenital aparente Δ' y siempre que las visuales recíprocas de A a B y de B a A sean simultáneas o puedan considerarse como tales para que sean las mismas las condiciones de refrangibilidad, el ángulo de refracción que forme la tangente y la cuerda al arco A B, estacionando en B, será igual al que antes se obtuvo estacionando en A. En el triángulo OAB, que forma la cuerda con las verticales de sus extremos se verifica:

$$\Delta + r = \omega + 180^\circ - (\Delta' + r)$$

$$2r = \omega - (\Delta' + \Delta) + 180^\circ \qquad [1]$$

Recordando la definición de coeficiente de refracción $K = r/\omega$, cuyo valor medio es de 0,13 se deduce que ω es unas seis veces mayor que $2r$, de donde resulta, en la fórmula [1], que $(\Delta' + \Delta) > 180$, circunstancia que a primera vista pudiera parecer extraña y que es debida a la convergencia de las verticales .

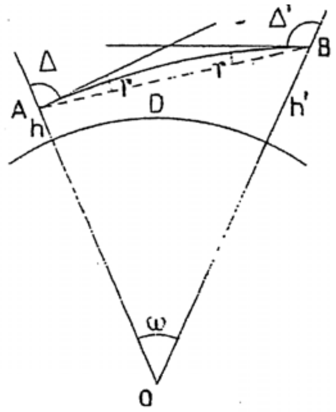
El valor de K se obtiene de la expresión [1] dividiendo los dos miembros por 2ω

$$K = 0{,}50 - ((\Delta' + \Delta) - 180^\circ) / 2\omega$$

Desde las diez de la mañana hasta las cuatro de la tarde, apenas varía el coeficiente de refracción; dos observaciones hechas dentro de estas horas o efectuadas incluso en días sucesivos próximas al mediodía, siempre que no varíen las circunstancias meteorológicas, pueden considerarse como simultáneas sin apreciable error.

1.3.2. Cálculo del desnivel por observaciones recíprocas y simultáneas

Dos observaciones recíprocas y que puedan considerarse como simultáneas hechas en las condiciones antes indicadas, permiten obtener el desnivel sin tener en cuenta, en el cálculo, el error de refracción ni la esfericidad terrestre.



Llamando *h* y *h'* las alturas sobre el nivel del mar de los puntos A y B y estableciendo la relación de los lados del triángulo AOB a los senos de los ángulos opuestos, se tendrá

$$\frac{R+h'}{R+h} = \frac{\operatorname{sen}(\Delta + r)}{\operatorname{sen}(\Delta' + r)}$$

de donde se deduce:

$$\frac{h'-h}{2R+h+h'} = \frac{\operatorname{sen}(\Delta + r) - \operatorname{sen}(\Delta' + r)}{\operatorname{sen}(\Delta + r) + \operatorname{sen}(\Delta' + r)} = \frac{\operatorname{tg}\frac{1}{2}(\Delta - \Delta')}{\operatorname{tg}\frac{1}{2}(\Delta + \Delta' + 2r)}$$

Despejando el desnivel $h' - h = Z$ y teniendo en cuenta que, según se deduce de la expresión [1], $\Delta + \Delta' + 2r = 180^o + \omega$:

$$Z = (2R + h + h')\operatorname{tg}\frac{1}{2}(\Delta' - \Delta)\operatorname{tg}\frac{\omega}{2}$$

y sustituyendo $\operatorname{tg}\frac{\omega}{2}$ por $\frac{D}{2R}$, se tendrá:

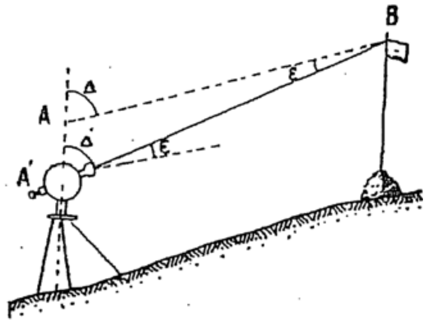
$$Z = D\left(1 + \frac{h+h'}{2R}\right)\operatorname{tg}\frac{1}{2}(\Delta' - \Delta)$$

En esta fórmula el término $\frac{h+h'}{2R}$ es muy pequeño y el prescindir de él no implica variación alguna en el cálculo del desnivel, aun en el caso más desfavorable, por lo que admitimos como fórmula definitiva:

$$Z = D\operatorname{tg}\frac{1}{2}(\Delta' - \Delta). \qquad [3]$$

1.3.3. Reducción al centro de estación.

Las visuales, en el caso anterior, deberían dirigirse desde el extremo de la señal colocada en cada uno de los puntos, al extremo de la situada en el otro, y será muy difícil dar al aparato la altura debida para que quede el anteojo exactamente a la misma distancia del suelo que lo estaba la señal. En este caso habrá que calcular la corrección є que ha debe darse a la distancia cenital observada para obtener la reducida al centro de la estación.



Designando por *e* la diferencia de altura de la señal y del instrumento, en el triángulo AA'B se verificará

$$e / D = \text{sen}\ є / \text{sen}\ \Delta'$$

y teniendo en cuenta que є ha de ser siempre muy pequeño, podrá escribirse

$$є'' = (e\ \text{sen}\ \Delta' / D)\ \rho''$$

La corrección será positiva cuando lo sea *e* ya la inversa;

1.3.4. Altura de las señales

Después de reducir al centro las dos visuales, la fórmula del desnivel antes obtenida, nos dará el que existe entre los extremos de las señales, y para hallar el correspondiente a **los puntos marcados en el terreno** habrá que sumar la diferencia de altura de las banderolas (o bastones o miras); designando por m y *m'* las alturas de las colocadas en A y en B, obtendremos el desnivel con el signo que corresponda por la fórmula:

$$Z = D\ \text{tg}\ ½\ (\Delta' - \Delta) + m - m'$$

1.3.5. Cálculo del desnivel por una sola visual

Podremos obtener el **desnivel entre dos puntos** por medio de una sola visual, haciendo intervenir el coeficiente de refracción, sin más que eliminar Δ' en las expresiones

[2] $K=0{,}50 - ½\ (R/ D\ \rho'')\ .\ (\Delta+\Delta' - 180)$ y

[3] $Z = D\ \text{tg}\ ½\ (\Delta' - \Delta)$

Despejando ½ Δ' de la primera, tendremos:

$$½\ \Delta' = (0{,}50 – K)\ D/R\ \rho'' - ½\ \Delta + 90$$

Y sustituyendo este valor de la [3]

$$Z = D\ \text{cotg}\ [\Delta - (0{,}50 - K)\ D\ \rho''/R\ ]$$

El término (0,50 - K) D ρ''/R no es otra cosa que la corrección e de esfericidad y refracción expresada en segundos, por consiguiente, la fórmula calculada sigue representando el término *t* de la expresión del desnivel con ejes cortos.

El desnivel así calculado representa el que existe entre el anteojo y el punto visado, y para obtener el de los puntos del terreno habrá que sumarle la altura del instrumento y restar la del punto que se mide, por lo que seguiremos obteniendo como expresión del desnivel hallado por pendientes lo mismo para ejes cortos que a largas distancias:

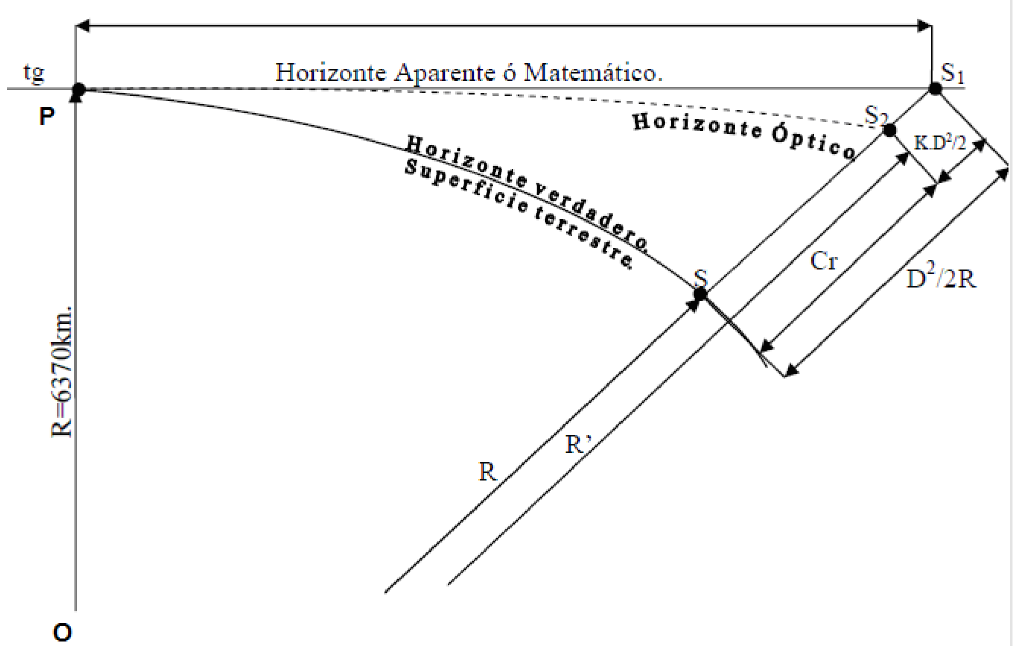
$$Z = t + i - m$$

sin más precaución que corregir la distancia cenit al observada del error de esfericidad y refracción dado por la fórmula:

$$c = (0{,}50 - K)\ D\ \rho''/R$$

1.3.6. Resumiendo y aclarando el efecto de la curvatura y refracción terrestres en la determinación de desniveles:

En el fundamento de la nivelación trigonométrica, se vio la expresión que permite calcular la cota del punto B, a partir de un punto A de cota conocida. Dicha expresión es válida solo cuando se trata de distancias cortas. Cuando la **distancia D, supera los 500m,** el efecto de la curvatura terrestre comienza a tener importancia. Además la refracción de la luz también juega un papel importante por lo que la línea dada por la visual desde el anteojo del teodolito al punto que se está bisectando no es realmente una recta. La influencia de **la curvatura terrestre** está dada por la expresión **$D^2/2R$**, donde **D es la distancia a la que se encuentra el objeto bisectado** desde el punto estación y **R es el radio terrestre 6370 km**.
El efecto de la **refracción terrestre** está dado por **K. $D^2/2$** que actúa con signo contrario a la curvatura (la refracción atenúa el efecto de la curvatura).
K es el coeficiente de refracción y tiene un valor medio de 0,13



El hecho de suponer a la tierra como plana, (válido sólo para distancias cortas), hace que a todos los puntos que se encuentren sobre la superficie se los considere ubicados en un horizonte aparente o matemático (tangente a la superficie en P).
De esta manera un punto S de la superficie terrestre estaría en la posición S_1, cometiéndose un error altimétrico por **curvatura** igual a **$SS_1 = D^2/2R$**.
Asimismo por efecto de la refracción todo rayo visual enviado desde P, no sigue una línea recta, sino que el mismo define una curva plana que es circular con concavidad hacia el centro de la Tierra. Es así que, estrictamente hablando al punto S_1 se lo consideraría ubicado en la posición S_2 sobre el horizonte óptico. Así se puede ver como la **refracción atmosférica** atenúa el efecto de curvatura en un valor

$$S_1S_2 = K.\ D^2/2R.$$

Concluyendo: por considerar ubicado al punto S en la posición S_2 y no sobre la superficie terrestre se hace necesario corregir, **para distancias largas,** todo cálculo de desnivel o cota de un punto afectándolo por $Cr = SS_2$.

$$Cr = D^2/2R - K.\ D^2/2R = D^2/2R\ (1-K)$$

Considerando K= 0,13, puede hacerse un cálculo rápido diciendo que:

$$Cr = D^2/2R\ (1- 0,13) = 0,87.\ D^2/2R$$

Sabiendo que R = 6370 km

$$Cr\ [m] \approx 0,07.D^2\ [km]$$

Expresando D en Km, el valor de Cr quedará establecido en metros.

Efecto combinado de refracción y curvatura terrestre.

$$\mathbf{Cr \approx 0,07.D^2}$$

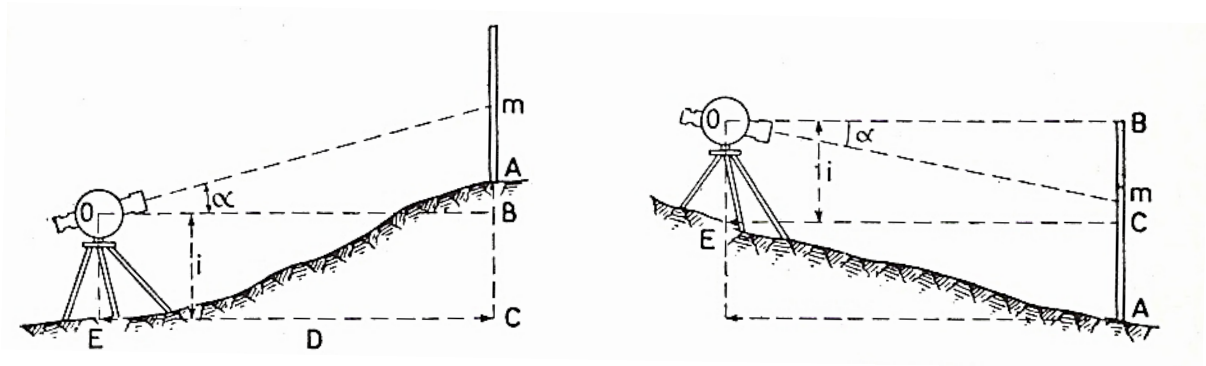
Si **D = 100 m** ⇒ D = 0,1 Km.
Cr = $0,07.\ 0,1^2$ ⇒ D = 0,000 7 m = **0,07cm Valor inferior a 1mm no se considera**.

Pero si**: D = 500 m** ⇒ D = 0.5 Km.
Cr = 0, 07. $0,5^2$ = 0, 02 m = **2 cm. En este caso Cr, comienza a tener significación.**

D = 1000 m ⇒ D = 1 Km.
Cr = 0,07. 1^2 = 0,07 m = **7 cm.**

Podemos establecer si desnivel de E a A (debe considerarse como negativo y que el término t también lo es, por medirse α bajo el horizonte, tendremos con su signo, también para este caso).

Desnivel de E a A $\mathbf{Z_{AE} = t + i - m = i + D\ tg\ \alpha - m + C_r}$

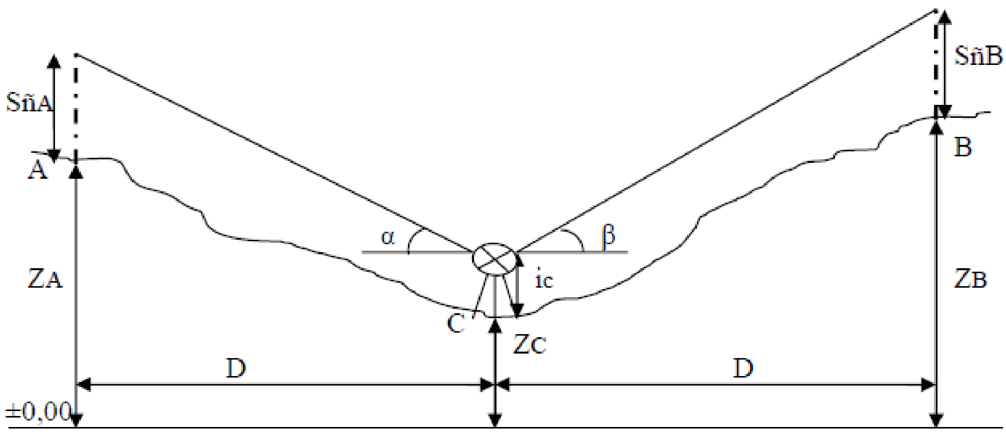


La distancia se mide por lo general en forma inclinada, acompañando el terreno y luego deberá hacerse la reducción al horizonte obteniéndose así D (D= d . cos α).

La Cota de A será la cota de E más el desnivel .

$$\mathbf{Z_A = Z_E + i + D\ tg\ \alpha - m + C_r}$$

Hay solamente un caso en que C_r no es considerado y es cuando se calcula un desnivel entre E y A, a partir de un punto C (estación del teodolito) ubicado a igual distancia de ambos.



$$ZA = ZC + ic + D.tg\,\alpha - SñA + Cr$$

$$ZB = ZC + ic + D.tg\,\beta - SñB + Cr$$

Por lo tanto el desnivel ZB – ZA será:

$$ZB - ZA = ZC + ic + D.tg\,\alpha - SñA + Cr - (ZC + ic + D.tg\,\beta - SñB + Cr)$$

Quedando:

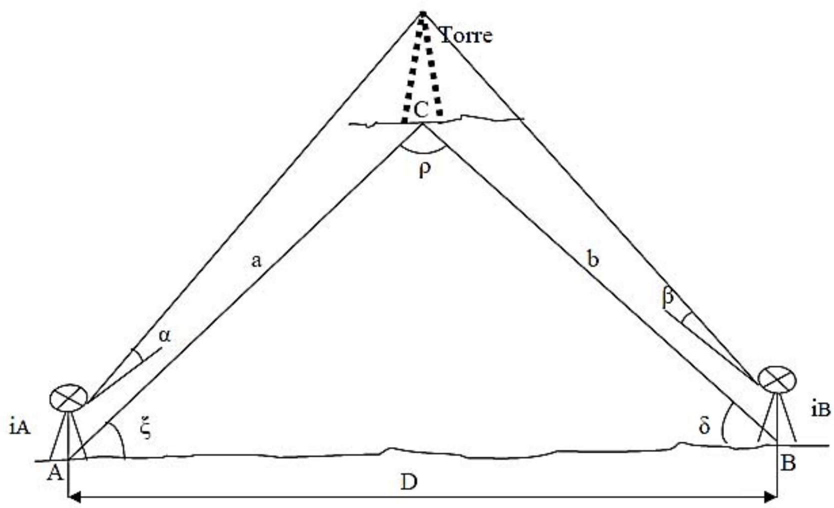
$$\boxed{\Delta Z_{AB} = D.(tg\,\alpha - tg\,\beta) + Sñ_B - Sñ_A}$$

2. APLICACIÓN DE LA NIVELACIÓN TRIGONOMÉTRICA. DETERMINACIÓN DE LA COTA DE UN PUNTO ELEVADO INACCESIBLE

Puede ocurrir que se deba conocer la altura de un punto elevado, como puede ser una torre, un morro, etc. Como es obvio, resulta imposible medir su altura por ejemplo con una cinta. A través de la nivelación trigonométrica, puede determinarse dicha altura según dos alternativas: Base Transversal a la Torre, Base Alineada con la Torre.

2.1. Método de Base Transversal:

El método consiste en elegir una base, transversal a la torre, los extremos de dicha base son los puntos A y B (estación del teodolito) que se encuentran separados una distancia D (variable de 50m a 100m). Estacionando el



teodolito en A se bisecta la cúspide de dicha torre y se miden los ángulos α (de altura) y ξ (ángulo horizontal que forma la dirección AC con AB). Análogamente se estaciona el instrumento en B y repitiendo la operación se miden los ángulos β y δ. En cada estación se determinan las alturas i_A e i_B. La distancia D, se mide con cinta. Y debe ser la reducida al horizonte, es por ello que se deben nivelar con nivel óptico A y B para saber su desnivel

En resumen se tiene:

Valores conocidos

ZA: cota del punto A.
ZB: cota del punto B.

Valores medidos:

α, β: ángulos de altura (verticales).
ξ, δ: ángulos horizontales.
D: distancia entre A y B reducida al horizonte.
i_A, i_B: altura del teodolito en A y B.

Valor calculado:

Z_T cota de la cúspide de la torre.

En un triángulo

$$\xi + \delta + \rho = 180^{o} \Rightarrow \rho = 180^{o} - \xi - \delta.$$

Aplicando el teorema del seno:

$$\text{sen}\, \rho / D = \text{sen}\, \delta / a \Rightarrow a = D.\, \text{sen}\, \delta / \text{sen}\, \rho$$
$$\text{sen}\, \rho / D = \text{sen}\, \xi / b \Rightarrow b = D.\, \text{sen}\, \xi / \text{sen}\, \rho$$

Por último se plantea:

$$Z_{TA} = ZA + i_A + a.\text{tg}\, \alpha + Cr_A$$

Y también:

$$Z_{TB} = ZB + i_B + b.\text{tg}\, \beta + Cr_B.$$

Donde

$$Cr_A = 0{,}07.a^2\ (\text{km}).\ \text{y}\ \ Cr_B = 0{,}07.b^2 (\text{km})$$

Z_{TA} y Z_{TB}, deben ser bastante próximos en sus valores. Si existiera una diferencia entre ellos se tomara como **Z_T el promedio de ambos**.

$$\mathbf{Z_T = (Z_{TA} + Z_{TB}) / 2}$$

Este método presenta como principal ventaja que existe control en el cálculo de Z_T ya que se lo efectúa desde dos puntos estación.

2.2. Método de Base Alineada con la Torre:

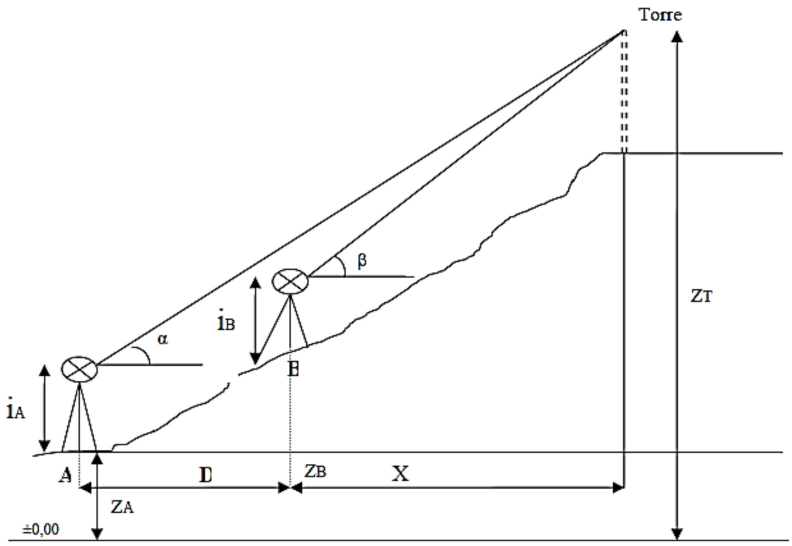
Este caso, se plantea cuando no se tiene lugar suficiente como para ubicar una base transversal. Se toman dos puntos A y B, separados una distancia D entre si y de cota conocida ambos.

Valores conocidos

ZA: cota del punto A.
ZB: cota del punto B.

Valores medidos:

α: ángulo de altura (vertical) medido en A.
β : ángulo de altura medido en B.
D: distancia horizontal entre A y B.
i_A: altura del teodolito en A.
i_B: altura del teodolito en B.



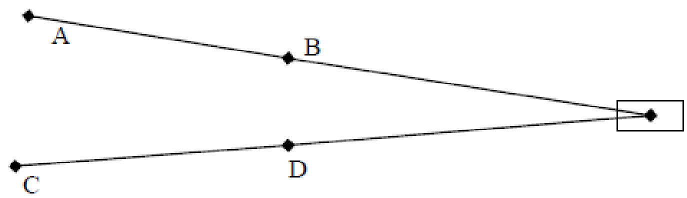
Valores calculados

ZT: cota de la cúspide de la torre.

X: distancia horizontal entre B y la base de la torre, no puede medirse con cinta, pues se supone que la base de la torre resulta inaccesible.
Por lo tanto, para resolver este caso, se plantean dos ecuaciones:

$$Z_T = Z_A + i_A + (D + X).\text{tg } \alpha$$
$$Z_T = Z_B + i_B + X.\text{tg } \beta$$

Es un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas el cual es perfectamente resoluble. Dichas incógnitas son: X y Z_T. Obviamente el valor que interesa es el de Z_T.
En este método, se presenta el inconveniente que el mismo no tiene verificación. Si se quisiera realizar la misma, no queda otra alternativa que volver a repetir la operatoria utilizando otra base alineada con la torre, teniendo así dos nuevos puntos de estación del teodolito C y D.
Vista desde arriba:



De esta forma si tendrá un Z_{TAB} y Z_{TCD} que deberán tener valores próximos entre si. El valor que se tomara como valido será el promedio de ambos.
Si la base de medición AB está muy alejada de la torre deberá incluirse en las ecuaciones planteadas, el término C_r complicando un poco la resolución de las mismas, pues en C_r interviene también la distancia incógnita X.

$$Cr_A = 0{,}07\ (D + X)^2 \text{ y } Cr_B = 0{,}07\ (D)^2.$$

Por lo tanto éste es un método de fácil resolución cuando AB y CD se encuentra a **no más de 400 m de la torre** ya que como se vio anteriormente el efecto de C_r es despreciable.

Debe quedar bien en claro, que la determinación de alturas de Torres, morros, antenas, etc. es **una aplicación de la nivelación trigonométrica**. El objetivo fundamental de la misma, **es determinar desniveles, entre puntos ubicados a grandes distancias uno del otro**.

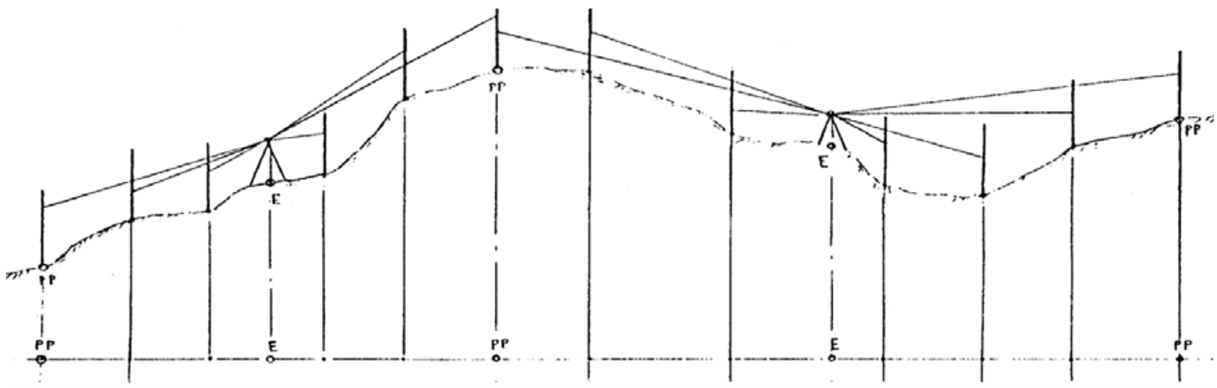
La **precisión** lograda en **nivelación trigonométrica** se encuentra en el orden del **centímetro**. Por tal motivo no debe exagerarse su utilización. La misma se empleará solamente cuando el terreno resulte demasiado quebrado (terreno ondulado) ya que allí se dificultaría la realización de una Nivelación Geométrica. Es precisamente esta última mencionada con la que se logrará tener mayor precisión.

2.3. Metodología práctica en las Nivelaciones Trigonométricas.

Teniendo en cuenta los métodos o posibilidades de observación expuestos, los trabajos regulares se pueden hacer de dos maneras básicas, con aclaraciones normalmente de orden práctico.

2.3.1. Nivelación trigonométrica lineal.

Son aquellas donde el desarrollo de la N. T. es básicamente de ese tipo, constituyendo una poligonal altimétrica donde prevalece una disposición longitudinal. Se ajusta a las formas transporte de cota aún cuando su uso tiene numerosas aplicaciones en especial en obras que se asientan sobre espacios angostos y largos. La N.T. lineal, es como una opción o complemento de la nivelación geométrica, en obras de desarrollo lineal como canalizaciones, acueductos, gasoductos, oleoductos, electroductos, caminos, etc. Esto en las tres etapas básicas de toda obra que incluyen, proyecto, ejecución y contralor, con las ventajas conocidas sobre la nivelación geométrica, en cuanto a su versatilidad espacial, y muy en especial la posibilidad de obtener los datos de campaña conjuntamente con los planimétricos esencial para y en toda obra. Es muy usada en poligonales altimétricas de apoyo correlacionándola con la planimetría, en lugares donde la nivelación geométrica, no es posible o conveniente utilizar y cuando la precisión lo permite, exigencia que se puede extender hasta <u>tolerancias por debajo de ± 50 mm √L,</u> operando muy cuidadosamente. De esa manera queda definida una poligonal planialtimétrica que puede completarse con el relevamiento de puntos intermedios, sea de un eje para conformar un perfil longitudinal o de su entorno.

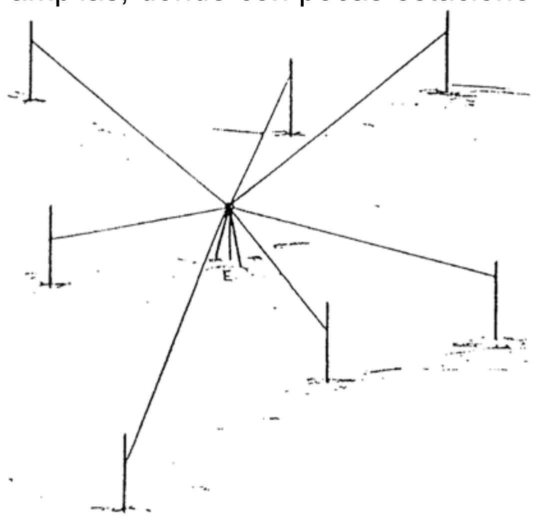


En la figura se observa el esquema de una N.T. de este tipo, constituyendo una poligonal altimétrica, que se integra con una planimetría conocida, con puntos de

paso (pp) y sucesivas estaciones E_i, desde las cuales, además de los P.P., se pueden nivelar esos puntos intermedios.
Estas poligonales también sirven de apoyo a otras nivelaciones complementarias de puntos del entorno, incluyendo los de perfiles transversales, en cuyo caso se operará también como en la nivel. Geom. en cuanto al procedimiento, y de acuerdo a la precisión exigida a través de la tolerancia admitida T.
Con respecto a las tolerancias en general son fijadas en función del trabajo por lo que primero habrá que ver si se lo puede alcanzar con la N.T. topográfica, en cuyo caso hay analizar básicamente las exigencias en cuanto a instrumental, procedimientos de campaña y correcciones.

2.3.2. Nivelación trigonométrica areal,

Es la utilizada en relevamientos de superficies amplias, donde con pocas estaciones alcanza para su cubrimiento en general con radiaciones las cuales, en forma simultánea, se realiza la planimetría. En general se aplica la nivelación desde un extremo, de manera simple, esto es sin correcciones especificas mas allá de los que proporciona el método e instrumental utilizado.



Hay que tener en cuenta que la operación se asimila normalmente a una radiación, y los puntos relevados están a distancias distintas, por lo que habrá compensaciones parciales de la influencia de los errores conforme la discrepancia entre esas distancias con la existente hasta el punto de apoyo altimétrico.
Si por cuestiones de tamaño hay que utilizar más de una estación se las vincula conforme se vio en el método anterior.

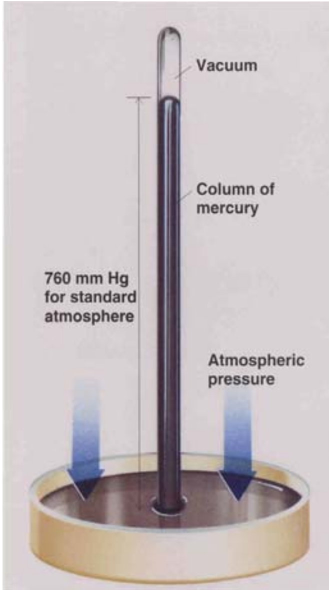
- Si bien la precisión no es patrimonio de ninguna de estas formas de trabajo, ya que con ambas se puede alcanzar los valores más dispares, normalmente es la primera (NT lineal) la que mejor se presta para las tareas exigentes en ese sentido.

En las N.T. topográficas de orden general prevalece la nivelación desde un extremo donde, es común que desde una estación se releven numerosos puntos sin necesidad de mantener la equidistancia hacia todos ellos. Esto ocurre tanto en una nivelación lineal donde es normal que se tomen puntos intermedios entre los "de paso" y también en nivelaciones areales donde regularmente se recurre a radiaciones donde los puntos relevados son seleccionados de acuerdo a su representatividad.
En ambos casos, en cada estación se apoyará en un punto de referencia sea un punto de paso, un punto fijo o sino uno cualquiera que sirva de referencia altimétrica.

3. NIVELACIÓN BAROMÉTRICA

3.1. Fundamento de la nivelación barométrica. Principios.[2]

Es bien conocido el experimento de Torricelli origen del barómetro, según el cual si se llena de mercurio un tubo de vidrio, aproximadamente de un metro de longitud, cerrado por un extremo y abierto por el otro, y se invierte, sin que se derrame, introduciendo el extremo en una vasija con mercurio, desciende la columna hasta una cierta altura, que al nivel de mar **a los 45° de latitud y a cero grados de temperatura, es normalmente de 760 milímetros**.



El peso de la columna de mercurio equilibra la presión atmosférica, y como la densidad del mercurio es de 13,59 el peso de una columna de un centímetro cuadrado de sección será 76 x 13,59 = 1.032 gramos y podremos asegurar que cada centímetro cuadrado de superficie, en estas condiciones, soporta una columna de aire que pesa 1.032 kilogramos.

Al elevamos a una cierta altura sobre el nivel del mar, dejará de ejercer presión la capa de aire que queda debajo de nosotros y como consecuencia desciende en el barómetro la columna de mercurio.

La **nivelación barométrica** tiene por objeto resolver el problema inverso, o sea: deducir de la variación de la columna barométrica el desnivel que existe entre dos puntos.

Si la densidad del aire fuese homogénea hasta las últimas alturas de la atmósfera, tomando para aquélla la de 0,00129 (peso en gramos de un centímetro cúbico de aire a las condiciones normales) y llamamos Z al desnivel expresado en centímetros entre dos puntos, la presión atmosférica habría disminuido en Z x 0,00129 gramos por centímetro cuadrado, variación de presión que, para ser equilibrada, obligará a descender a la columna barométrica.

Suponiendo hubiese bajado ésta 1 milímetro, el peso del mercurio por centímetro cuadrado será 0,1 x 13,59 = 1,359 gramos, igual a la disminución del peso de la columna de aire, o sea:

$$z = 1,359 / 0,00129 = 1.053 \text{ cm.}$$

Es decir, que a **cada milímetro de variación en la columna barométrica corresponde un desnivel de 10,5 metros**.

Esto, sin embargo, no es cierto, de serlo, la altura de la atmósfera· alcanzaría tan sólo 8 kilómetros que corresponden, según la fórmula anterior, a los 760 milímetros de mercurio. El error es debido a que el aire se va enrareciendo a medida que nos elevamos y, por tanto, su densidad no es constante.

De una parte, ha de cumplir el aire con la ley de Mariotte; según ésta en toda masa gaseosa, a igualdad de temperatura, el producto, de su volumen por su presión, es

[2] F. Dominguez García-Tejero. Topografía General y Aplicada

una cantidad constante; por consiguiente, en el aire, al disminuir la presión con la altura aumentará su volumen disminuyendo la densidad.

Ha de cumplir además con la ley de Gay-Lussac, o sea, que, a igualdad de presión, es constante el coeficiente de dilatación, lo que se representa por la fórmula

$$V = V_o (1 + \alpha t)$$

y, por tanto, la densidad también será función de la temperatura.

Varía además la densidad del aire con la latitud, por ser variable la gravedad, que sabemos alcanza en los polos su valor máximo, si bien puede prescindirse prácticamente de este factor correctivo para un país determinado, en que la variación de la latitud, de uno a otro lugar, no influye en los resultados, máxime teniendo en cuenta que aún depende la densidad del aire, en un mismo lugar, de la humedad atmosférica, estado higrométrico, vientos, etc., circunstancia que, como es sabido, hacen conocer el estado meteorológico, en un momento dado, por las indicaciones del barómetro.

Deducimos, en consecuencia, **que para calcular el desnivel en función de la variación barométrica, suponiendo eliminadas las circunstancias locales, ha de tenerse en cuenta la presión en los dos puntos y la temperatura, estableciendo al efecto como fórmula práctica la determinada por Laplace para latitudes próximas a 45°**:

$$\mathbf{Z_{AB} = K\,(1+\alpha t)\,\log\,(b_A/b_B)}$$

K es la llamada constante barométrica = 18.400.

α, coeficiente de dilatación del aire = 0,004.

t, promedio de temperaturas (centígrados) en A y en B.

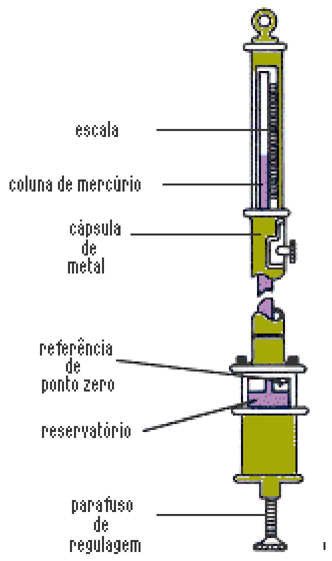
b_A y b_B, presión barométrica, en milímetros de mercurio, en los dos puntos, referida a cero grados.

La **nivelación barométrica es muy errónea; sin embargo, es útil como orientación en reconocimientos extensos**.

3.2. BARÓMETRO DE FORTÍN

Para que un barómetro de mercurio pueda utilizarse en trabajos topográficos ha de ser transportable, con características del barómetro de Fortín, muy conocido. El tubo de vidrio va protegido por otro de latón, con dos ranuras opuestas para ver el nivel del mercurio en una escala dividida en milímetros y mediante un nonio, que se hace enrasar con la superficie libre del mercurio, en la columna barométrica se aprecia la décima de milímetro.

El depósito puede cerrarse herméticamente para el transporte y su fondo es de gamuza, susceptible de elevarse mediante un tomillo. Actuando sobre éste se eleva el mercurio hasta rellenar todo el depósito y todo el tubo, evitando roturas, y permite introducir el barómetro en un estuche para el transporte.



Cuando se pretenda utilizarle ha de colocarse el tubo vertical y actuar sobre el tomillo de la gamuza, hasta que el nivel libre del mercurio enrase exactamente con una punta de marfil, lo que se comprobará por el perfecto contacto de ésta y su imagen.

Corrección de las lecturas. La lectura obtenida en el barómetro ha de corregirse: primero, de la capilaridad del tubo, segundo, de la dilatación de la escala, y tercero, ha de referirse a cero grados. El mercurio no moja al vidrio y como consecuencia se forma un menisco convexo, cuya parte más alta queda por debajo del nivel que alcanzaría el mercurio de no haber capilaridad. La corrección del menisco ha de ser siempre positiva y depende del diámetro del tubo y de la altura del menisco, que no sólo varía de un instrumento a otro, sino, al cabo del tiempo, en un mismo instrumento. Existen tablas de doble entrada, en función del diámetro del tubo y de la flecha del menisco, que dan calculada la corrección expresada en décimas de milímetro.

En segundo lugar la escala de latón, que fue graduada a cero grados, se habrá dilatado y por ello la lectura l obtenida será inferior a la que correspondería con la escala a cero grados. Llamando α el coeficiente de dilatación del latón (0,0000186) y t la temperatura, la verdadera lectura será:

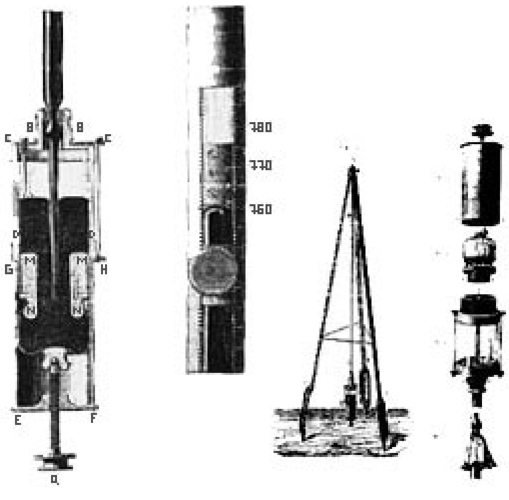
$$l' = l\,(1 + \alpha\, t)$$

Finalmente habrá que referir a cero grados la columna barométrica de altura l'. El mercurio, al dilatarse, habrá disminuido su densidad y, por consiguiente, la lectura l' que alcanza es superior a la que tendría si la temperatura fuera de cero grados.

$$l_o = l'\,(1 - \beta\, t)$$

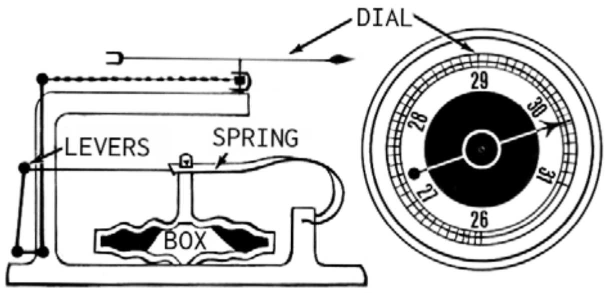
en cuya fórmula β representa el coeficiente de dilatación lineal del mercurio igual a 0,000179. Sustituyendo en esta fórmula l' por su valor, despreciando el término de segundo grado, tendremos como valor definitivo, en función de la lectura de la escala y de la temperatura t en el momento de la observación:

$$l_o = l\,[1- (\beta - \alpha)\, t] = l\,(1- 0{,}00016\, t)$$



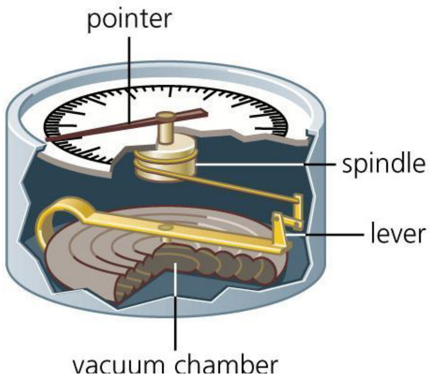
3.3. BARÓMETROS ANEROIDES U HOLOSTÉRICOS

Los barómetros de mercurio son mucho más precisos que los barómetros metálicos, llamados también aneroides u holostéricos. Sin embargo, la dificultad del manejo de los barómetros de mercurio y el peligro de romperse, al trabajar con ellos en el campo, hace sean preferibles los barómetros metálicos de pequeñas dimensiones y rápida lectura, como conviene a un trabajo topográfico de esta índole, reservando los barómetros de mercurio para contrastar los aneroides al salir al campo.

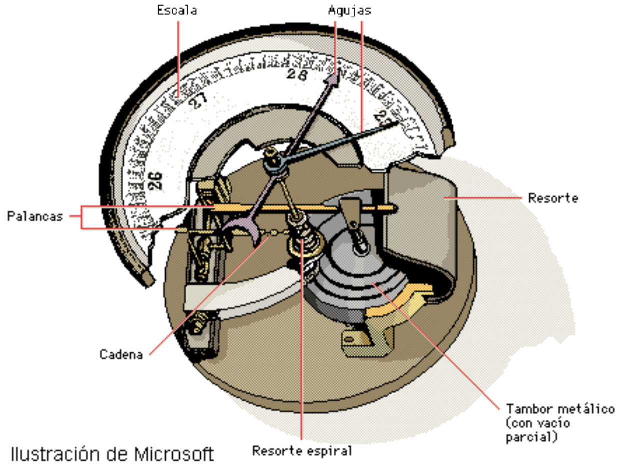


Los barómetros metálicos más usados son del tipo Vidi, cuya descripción detallada puede verse en cualquier manual de física.

Su fundamento es la presión ejercida por la atmósfera sobre una caja metálica en cuyo interior se ha hecho el vacío y cuya tapa es ondulada y flexible, unida a un fuerte resorte que tiende a separada del fondo.



Si la presión atmosférica aumenta, vence la acción antagónica del resorte y la caja se comprime, y a la inversa; un juego de palancas y un sencillo mecanismo amplifica y transforma este movimiento de ascenso y descenso de la tapa, en movimiento giratorio de una aguja, que con su punta recorre un sector que, por comparación con un barómetro, se ha graduado en milímetros de mercurio. Todo el instrumento va encerrado en una caja metálica de forma troncocónica, cuya base mayor, de vidrio, corresponde al sector graduado. De tiempo en tiempo deben contrastarse los barómetros aneroides para cerciorarse de que el resorte no ha perdido elasticidad.



Hay algunos barómetros metálicos, mejor denominados ***altímetros***, que además de la graduación en milímetros de mercurio llevan su equivalencia en metros sobre el nivel del mar para condiciones normales de presión; es claro que sus indicaciones absolutas no pueden ser de utilidad, sino tan solo las variaciones de la aguja al trasladarse de uno a otro punto.

Es más frecuente que lleven las dos graduaciones en metros de altitud y en milímetros de mercurio; suelen llevar, además, los altímetros, un nonio movible, cuyo cero se coloca en prolongación de la aguja y van provistos de una fuerte lupa para hacer las lecturas en la escala de los metros a la que corresponde el nonio; con estos instrumentos puede apreciarse, como máximo, el metro de desnivel.

Altímetro digital. Rango:-500 +1000:1 m / 1000+7000: 2 m
Funciones: Mín./máx, ascenso/descenso, gráfica últimas 12 h. de la altura y presión atmosférica.
Barómetro (400 a 1070 mbar).
Termómetro (-40+70ºC), Cronómetro, Reloj.

3.4. NIVELACION BAROMETRICA

El método de nivelación barométrica es sumamente incierto; se funda, como sabemos, en la variación de la presión atmosférica con la altura, pero aun en un mismo lugar oscila la aguja de un barómetro como consecuencia de las variaciones meteorológicas, circunstancia que enmascara las observaciones que hagamos para deducir desniveles.

Se utilizan dos métodos de nivelación barométrica: el de ***radiación*** y el de ***itinerario;*** con ambos, se precisa utilizar dos altímetros gemelos que constituyen el equipo de nivelación, fundándose, tanto uno como otro método, en eliminar las oscilaciones de la aguja debidas a influencias meteorológicas.

3.4.1. Método de radiación

Han de intervenir dos operadores provistos, cada uno, de su correspondiente altímetro. Comenzarán por reunirse los dos en el centro de la zona que haya de ser objeto de la exploración barométrica, confrontando sus respectivos instrumentos para anotar la diferencia que se observe en las lecturas de la presión atmosférica, e igualmente confrontarán sus relojes con objeto de hacer observaciones simultáneas.

Uno de los operadores permanecerá fijo mientras el otro se desplaza recorriendo todos los puntos en que haya de estacionarse. El operador fijo hará lecturas

periódicamente, previamente acordadas, por ejemplo, cada cinco minutos, anotando las observaciones que vaya obteniendo y la hora en que se efectuaron.
Mientras tanto el otro operador, al recorrer la zona, cuando haya de hacer una lectura, tendrá que esperar a que el reloj marque los cinco minutos señalados, para que sea simultánea a la que efectúe el operador fijo, anotando la observación que se realice en el altímetro y la hora en que se hizo.
Terminado el recorrido se reunirán nuevamente los dos operadores, confrontando los instrumentos para comprobar, que no ha variado la diferencia de sus lecturas y se corregirán las efectuadas con el barómetro ambulante de la oscilación que hubiere experimentado la aguja del fijo a la hora correspondiente.
Se supone, con este método, que las oscilaciones barométricas son las mismas y simultáneas en todos los puntos de la zona, lo que sólo cuando ésta es pequeña podrá admitirse con relativa seguridad.
Precisamente en el reconocimiento de grandes zonas es donde la nivelación barométrica tiene su mejor aplicación por la rapidez de la observación, y se comprende, por tanto, la escasa precisión del sistema.

3.4.2. Método de itinerario

Se funda este método en hacer observaciones simultáneas, pero a distancias pequeñas, de modo que los dos barómetros estén a la vista, por lo que es más verosímil que la oscilación de la aguja de uno de ellos, debida a causas meteorológicas, sea igual a la que hubiere experimentado el segundo.
Con este método los dos barómetros son ambulantes y recorren un mismo itinerario: reunidos en el origen, confrontan los instrumentos, anotando la diferencia de sus lecturas; uno permanecerá fijo en el punto mientras el otro recorre el primer eje; al llegar éste a su término, hará señas el primer operador y simultáneamente leerán ambos sus respectivos altímetros, anotando el resultado.
El operador de atrás avanzará hasta reunirse con el de delante, confrontado nuevamente los altímetros para cerciorarse de que permanece la misma diferencia de lectura anotada en el primer punto, y se corregirá la del altímetro de delante en la oscilación experimentada por el altímetro de atrás. La diferencia de lecturas del altímetro delantero, después de corregir la segunda, nos dará el desnivel. Nuevamente permanecerá fijo un barómetro mientras el otro se desplaza a un tercer punto, y así sucesivamente hasta llegar al último.
Por este método se eliminan mejor que con el otro las variaciones de la presión atmosférica debidas a causas meteorológicas, pero en cambio se acumulan los errores de uno a otro eje; por eso y dado lo inseguro del sistema, cuando el itinerario no sea encuadrado entre dos puntos de cota conocida, convendrá sea cerrado, para confrontar, en los dos casos, el error de cierre y compensarle, a partes iguales, entre las estaciones realizadas.
Con uno y otro método es indispensable utilizar barómetros aneroides, proscribiendo los de mercurio por su dificultad de transporte, recomendándose únicamente estos últimos para contrastar los altímetros en el gabinete antes de comenzar un trabajo.

Los barómetros aneroides deberán transportarse en estuches de cuero, evitando les dé el sol, y para su lectura se colocarán horizontalmente, siempre a la misma altura del suelo, por ejemplo, a la del pecho, y antes de hacer la observación se les dará un golpecito con el dedo para obligar a la aguja a que ocupe su posición de equilibrio.
Las diferencias obtenidas, después de corregido en uno y otro método, si vienen expresadas en milímetros de mercurio, habrá que reducirlas a metros de desnivel, haciendo uso de la fórmula de Laplace, precisando conocer además la temperatura. De utilizar la graduación en metros y no hacer en ella corrección alguna, llegaremos a resultados más imprecisos.

- Teniendo presente que cada milímetro de variación en la longitud de la columna mercurial, corresponde a una diferencia de nivel de aproximadamente 10,5 m y admitiendo que pueda determinarse dicha variación con una vacilación de +/- 0,1 milímetro mediante la utilización de un vernier, resulta que con los buenos barómetros de mercurio pueden establecerse diferencias de nivel del orden de un metro.