

FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNLP



NIVELES ÓPTICOS

FUNDAMENTOS DE INSTRUMENTAL.

DEPARTAMENTO DE AGRIMENSURA.



jose.romano@ing.unlp.edu.ar

La topografía tiene como uno de sus objetivos la ejecución de todas las mediciones que conducen a la determinación de la posición relativa de puntos terrestres. Esta tarea implica la medición de distancias, ángulos y alturas. El instrumento topográfico denominado nivel óptico o equialtímetro se aplica a la medición de alturas de puntos sobre el terreno.

Índice.

| | |
|---|----|
| 1- Nivel de Anteojo o Equialtímetro..... | 3 |
| 2- Tipos de niveles..... | 3 |
| 3- Ejes del Nivel de Anteojo y Condiciones que deben cumplir. | 6 |
| 4- Miras de nivelación. | 8 |
| 5-Nivelación geométrica..... | 10 |
| 6- Error de Colimación. | 12 |
| 7- Determinación práctica del error de colimación en el nivel de anteojo..... | 13 |
| 8- Corrección instrumental del error de colimación. | 17 |
| 9- Retículo estadimétrico..... | 18 |
| 10- Medición de distancias por estadimetría..... | 19 |
| 11- Determinación práctica de las constantes estadimétricas del anteojo..... | 20 |
| 12- Determinación del Aumento de un anteojo | 23 |
| 13- Bibliografía de referencia. | 23 |

1- Nivel de Anteojo o Equialtímetro.

Un nivel de anteojo, nivel óptico o equialtímetro es un instrumento topográfico que permite determinar el desnivel entre dos puntos mediante visuales horizontales dirigidas a miras verticales. En su forma más elemental, está constituido por un nivel tubular adosado a un anteojo astronómico, de forma tal que el eje de colimación de éste, sea paralelo al eje del nivel tubular. Este instrumento va montado sobre un trípode mediante un tornillo ad-hoc y gira alrededor de un eje de rotación.

Los niveles de anteojo o equialtímetros difieren entre sí de acuerdo a su precisión, antigüedad y fabricante. En la figura 1 pueden apreciarse los componentes principales de un nivel del tipo automático.

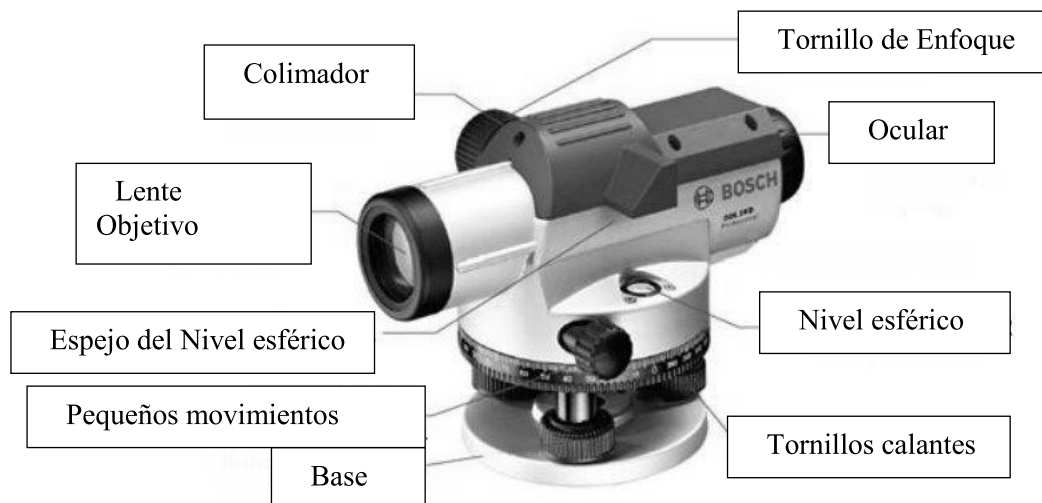


Figura 1: Componentes principales de un nivel automático.

2- Tipos de niveles.

Los niveles de anteojo o equialtímetros se pueden clasificar en niveles de plano, niveles de línea, niveles automáticos y niveles digitales. Los niveles de plano han estado en desuso durante mucho tiempo y por ese motivo no serán tratados en este apunte.

Niveles de línea: Se componen de un anteojo astronómico y de un nivel tubular, unidos de forma solidaria (fig.: 2-a). Se construyen de manera que el eje del nivel tubular sea paralelo al eje de colimación del anteojo, de este modo centrando la burbuja se consigue la horizontalidad del eje de colimación. En estos instrumentos la burbuja del nivel tubular debe ser calada antes de cada lectura, esto se consigue mediante un tornillo de cabeceo (o de elevación) que hace posible dar pequeños giros al conjunto anteojo y nivel tubular alrededor de un eje secundario. Estos instrumentos topográficos también poseen un nivel esférico que debe ser calado para posibilitar que el nivel tubular esté dentro de su rango de trabajo.

Existen niveles tubulares llamados de coincidencia, estos no tienen marcadas divisiones, sino que utilizan un sistema de prismas de reflexión total, colocados de manera tal que hacen aparecer la burbuja dividida longitudinalmente y las dos partes colocadas una contra otra. En los niveles de línea equipados con este sistema de coincidencia, la burbuja puede observarse cómodamente a través de un visor en el que aparecen las imágenes (convenientemente recortadas por la mitad), figura 2-b. En estos sistemas, se opera sobre el tornillo de elevación hasta obtener la coincidencia de los dos extremos de la burbuja, en ese estado se habrá conseguido el calado del nivel tubular (Fig. 2-c). Al igual que el resto de los niveles de anteojo, se requiere el calado previo del nivel esférico.

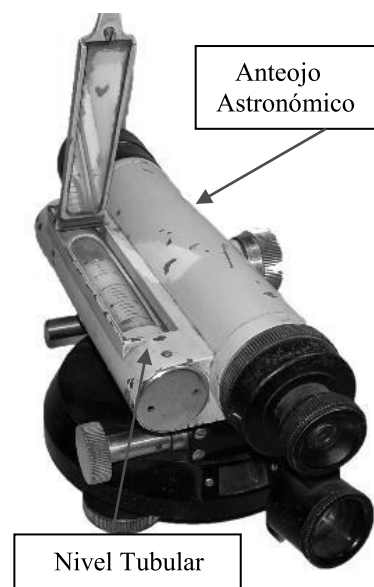


Figura 2-a: Nivel de línea clásico. Anteojo astronómico y nivel tubular unidos de forma solidaria.

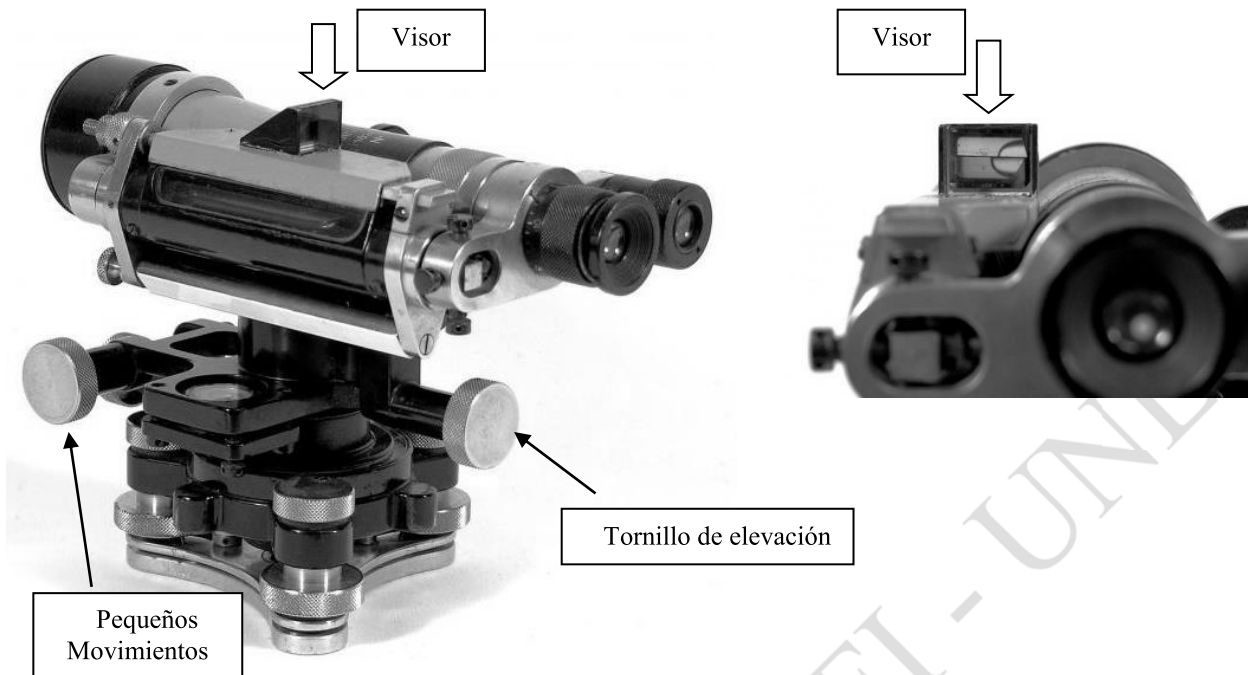


Figura 2-b: Nivel de línea con sistema de coincidencia.

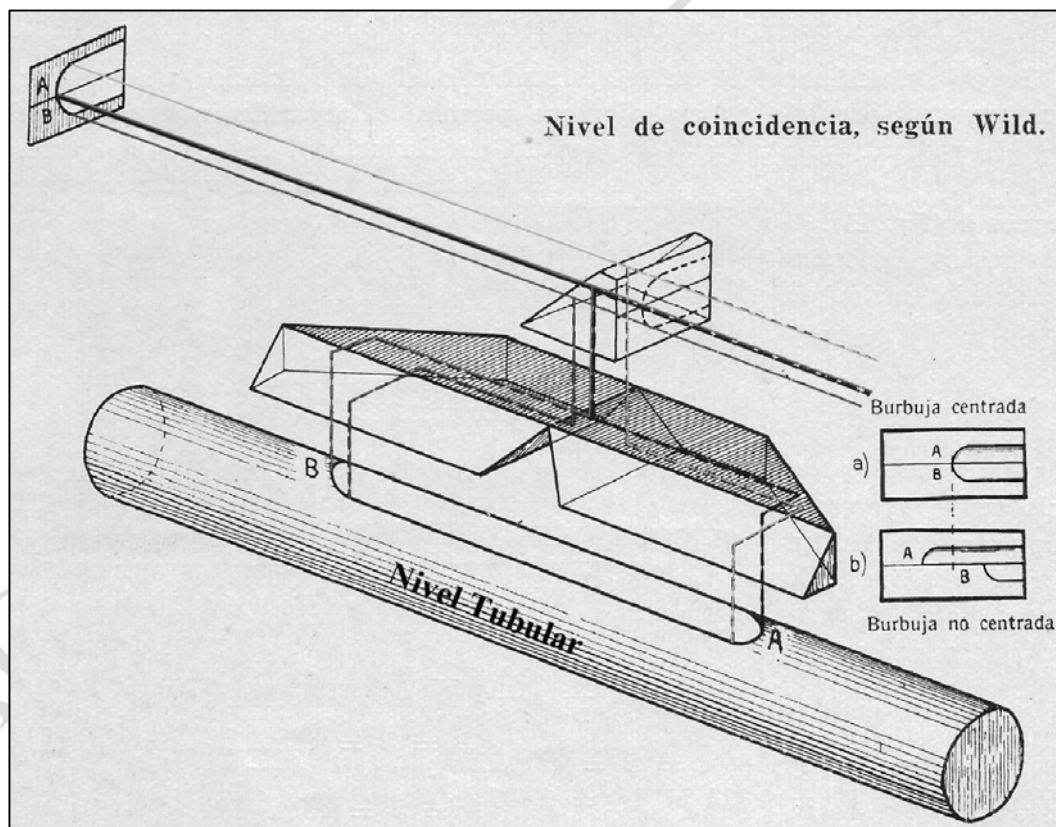
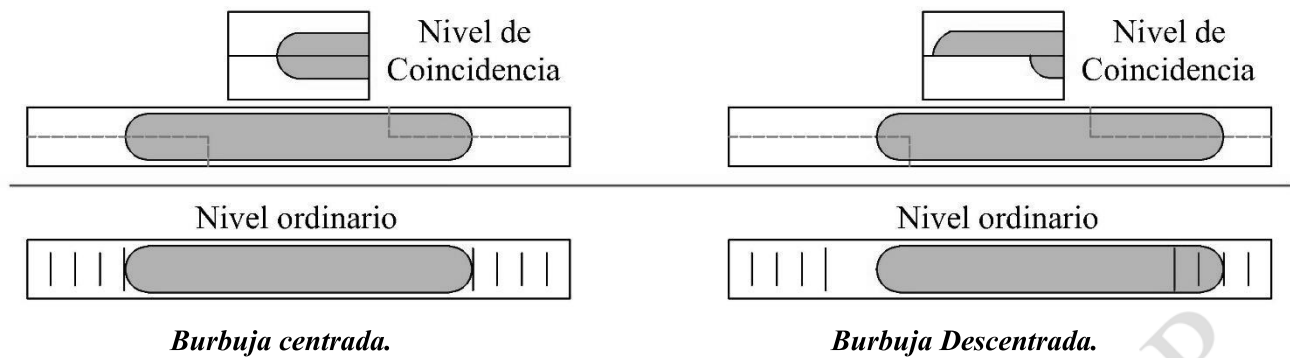


Figura 2-c: Esquema de un nivel de coincidencia. Imagen: Roberto Müller - Compendio General de Topografía - Tomo II "Óptica, Teodolitos y Poligonaciones" - página 143 - Bs. As. 1933.

La separación de los extremos mide el doble del desplazamiento de la burbuja, consiguiendo duplicar la apreciación sobre la que se obtendría observando el número de divisiones que se desplaza la burbuja en un nivel ordinario. Se evita el error de apreciar las divisiones duplicando la sensibilidad de un nivel tubular.



Niveles automáticos: En estos equipos, el anteojo se encuentra rígidamente unido a la plataforma nivelante; no poseen un eje secundario ni un nivel tubular. La horizontalidad del eje de colimación se consigue mediante un mecanismo compensador situado en el interior del anteojo, que de forma automática proporciona la visual horizontal (Fig. 2-c).



Figura 2-c: Nivel automático y mira.

Niveles digitales:

Los niveles digitales son instrumentos topogeodésicos equipados con un dispositivo electrónico que permite la lectura a miras provistas de un código de barra (Fig.: 3). Una vez enfocada la mira, se acciona la tecla correspondiente y el instrumento comienza a medir, luego las medidas de hilo medio y distancia aparecen directamente en la pantalla. Disponen además de una memoria interna para almacenar los datos medidos, con lo cual no es imprescindible anotarlos en una libreta a mano. El procesador interno de estos aparatos permite además realizar automáticamente los cálculos de cotas en trabajos de nivelación geométrica o en trabajos de radiación. El sistema de lectura digital y el almacenamiento interno de datos reducen significativamente los errores en las medidas causados por el operador.

Son muy útiles en aquellos trabajos donde un gran número de puntos deben ser levantados, ahorrando hasta un 50% del tiempo. La visual horizontal se consigue del mismo modo que en los niveles automáticos, la principal diferencia radica en el sistema de lectura digital.



Figura 3: Nivel digital y mira con código de barras.

3- Ejes del Nivel de Anteojo y Condiciones que deben cumplir.

Existen tres ejes:

- a) eje del nivel tubular (LL'). Solamente en los de niveles de línea;
- b) eje de colimación (CC');
- c) y eje de rotación (RR').

Condición principal: En un **nivel de Línea**, el eje del nivel tubular (LL') debe ser paralelo al eje de colimación (CC') del anteojo (Fig. 4). Calando la burbuja del nivel tubular se logra la horizontalidad del eje de colimación.

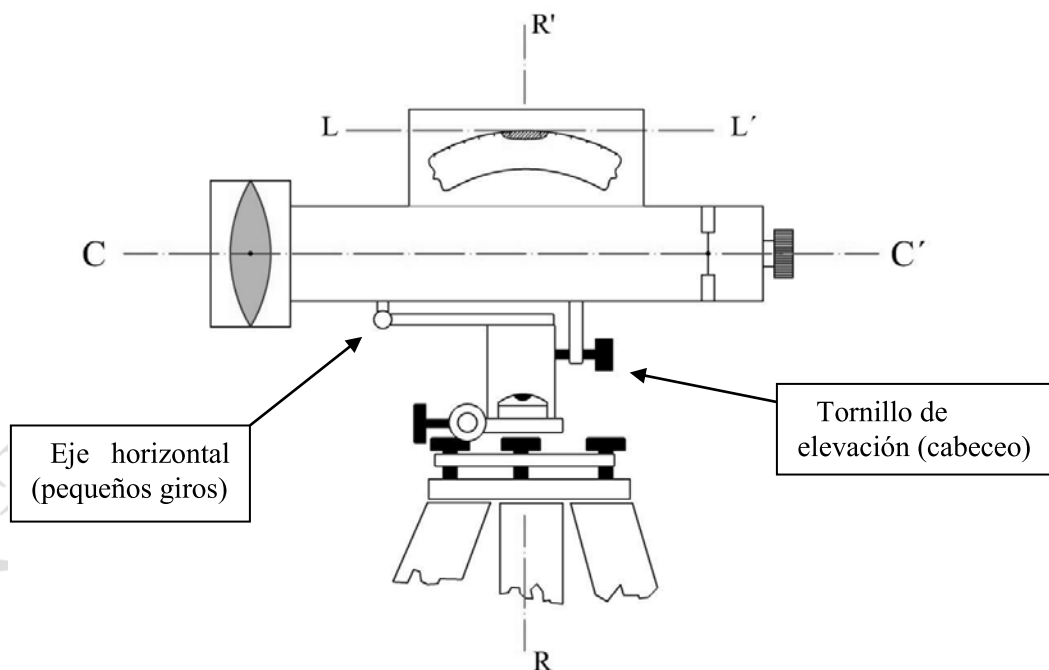


Figura 4: Esquema de nivel de línea. LL' debe ser paralelo a CC' , de ese modo cuando LL' es horizontal (burbuja centrada) CC' también los es.

En un **nivel Automático**, mediante un sistema compensador se fuerza a la visual horizontal que atraviesa el centro óptico del objetivo¹ a pasar por el centro del retículo (Fig. 5-a y 5-b). Esto se consigue mediante un compensador automático que se compone por espejos y prismas capaces de disponerse de acuerdo a la dirección de la gravedad. Un compensador automáticamente refleja y refracta al haz de luz horizontal que ha atravesado el centro óptico del objetivo, dirigiéndolo al punto de intersección de los hilos vertical y horizontal del retículo. Los compensadores de los niveles automáticos tienen un rango de trabajo de unos pocos minutos, (ej.: 2') por lo tanto previamente debe ser centrada la burbuja del nivel esférico.

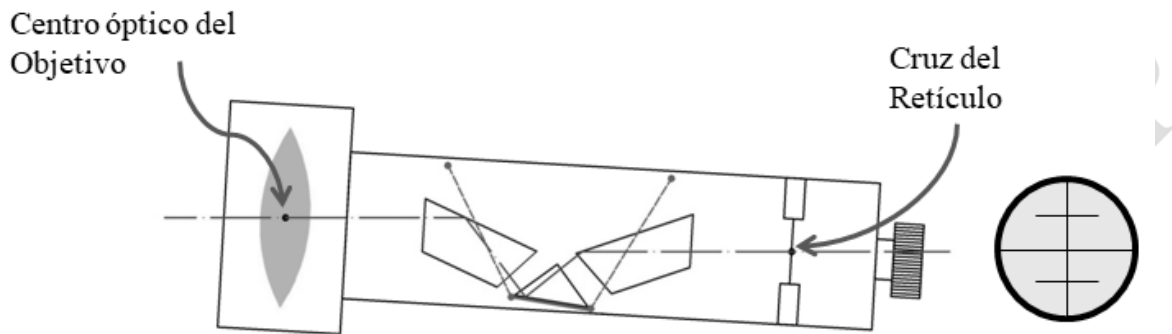
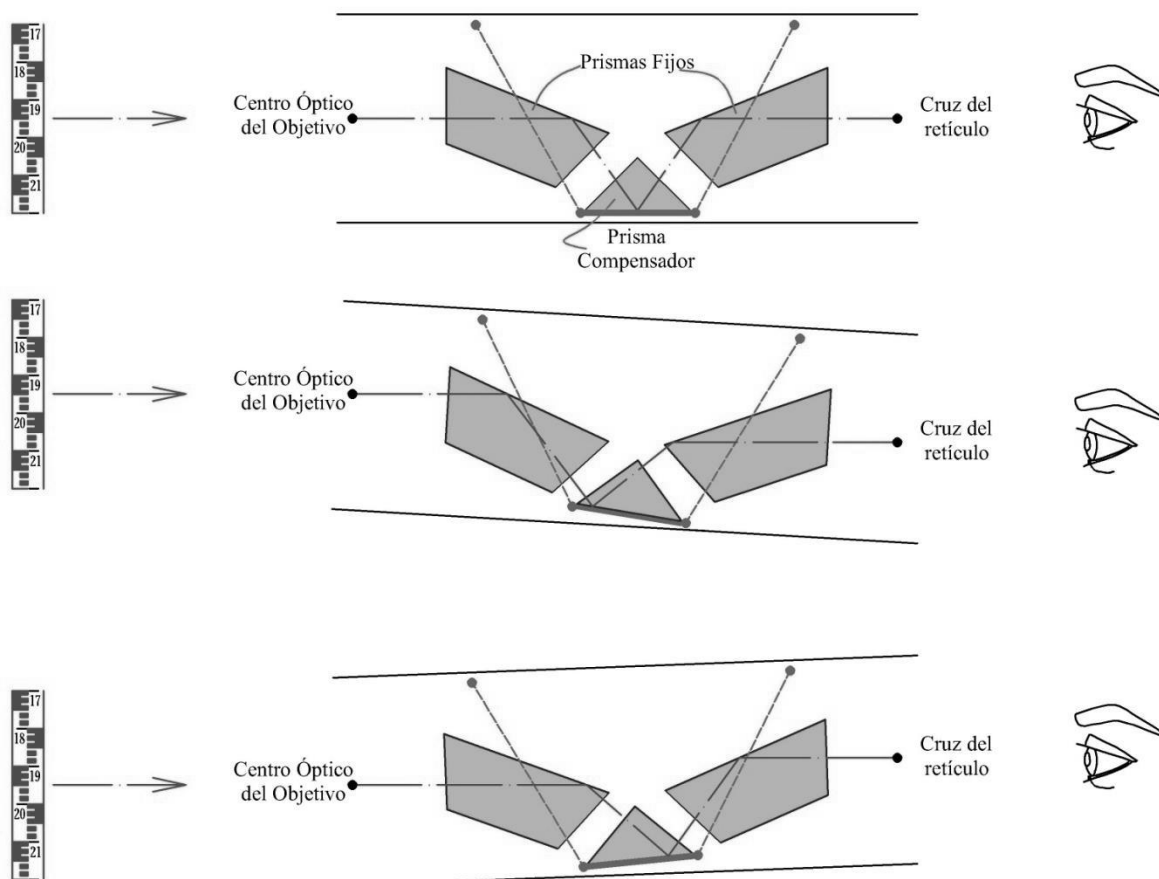


Figura 5-a: Esquema de un nivel Automático. Estando calado el nivel esférico, el antejo no está perfectamente horizontalizado. El compensador automático provoca que la visual que atraviesa la cruz del retículo sea horizontal.



¹ En un lente convergente, como lo es el objetivo, la luz que atraviesa su centro óptico no será refractada. El haz de luz que incide sobre el centro óptico del objetivo con dirección horizontal ingresará al interior del antejo sin perder esa horizontalidad.

Figura 5b: Esquema del sistema compensador de un nivel Automático en tres posiciones diferentes. Calado el nivel esférico, el sistema compensador estará dentro de su rango de trabajo. Entonces, la visual horizontal que pasa por el centro óptico del objetivo, por acción del compensador, atravesará siempre la cruz filar del retículo. Imagen: Wolf y Ghilani – Topografía – 11 edición, 2008 - página 90.

Condición secundaria: En los niveles de plano, hoy en desuso, era necesario verticalizar el eje de giro RR' . En los niveles de línea, automáticos y digitales esta condición no es requerida, ya que se provoca la horizontalidad del eje de colimación mediante mecanismos independientes del eje de giro; este último queda verticalizado aproximadamente cuando se cala el nivel esférico.

4- Miras de nivelación.

Las miras son parte esencial del equipo de nivelación. Son reglas cuya longitud puede variar entre los 3 y 6 metros (Fig. 6-a). Un requisito indispensable en su construcción es la homogeneidad en la graduación de su escala y la inalterabilidad de su longitud con las variaciones de la temperatura. Su graduación puede ser directa o invertida de acuerdo al tipo de anteojo que posea el nivel con el que se trabaja.

El nivel de anteojo, cualquiera sea su tipo, es un instrumento capaz de dirigir visuales horizontales a miras de nivelación colocadas de forma vertical sobre los puntos a nivelar. Cuando, con el anteojo del nivel se apunta a una mira y se realiza el enfoque, se genera una imagen de esta aumentada y superpuesta con la imagen del retículo. En esa superposición de imágenes, la posición del hilo horizontal sobre la escala de la mira permite realizar la lectura del hilo medio. Los anteojos llamados estadimétricos poseen un retículo con otros dos hilos horizontales, simétricamente ubicados por encima y por debajo del hilo medio, los cuales permiten las lecturas de hilo superior e hilo inferior. Dependiendo del tipo de anteojo la imagen de la mira puede ser directa o invertida. Al igual que en las mediciones con un teodolito, se debe evitar el error de paralaje realizando el enfoque cuidadosamente.

La lectura del hilo medio es la medición de una altura, y tiene correspondencia con la distancia vertical entre la visual horizontal dada por el nivel y el punto del terreno donde se apoya la mira. Por ese motivo, la diferencia entre las lecturas de hilo medio en dos puntos distintos permite calcular el desnivel entre esos puntos.

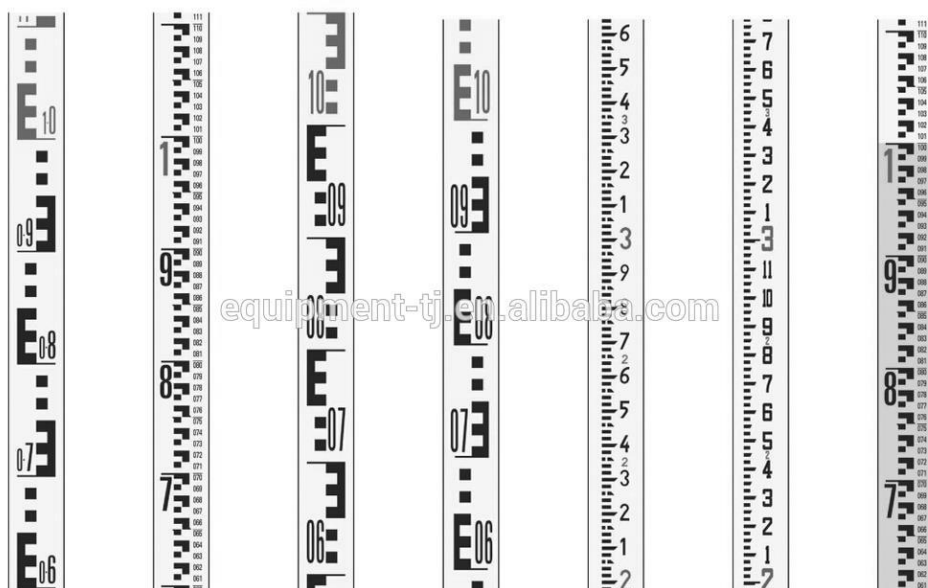


Figura 6-a: Diferentes modelos de miras de nivelación.

Graduación de las miras: Existen varios tipos de graduaciones, pero uno muy común es la graduación donde se intercalan letras "E" en color negro y blanco o blanco y rojo, para lograr una mejor lectura. En este tipo de graduación se coloca de forma numérica los metros y decímetros (ej. 12=1,2 m). Cada "E" presenta una longitud de 5 cm, luego cada segmento dentro de la "E" es de 1 cm. Lecturas correspondientes al milímetro deben ser estimadas (Fig. 6-b).

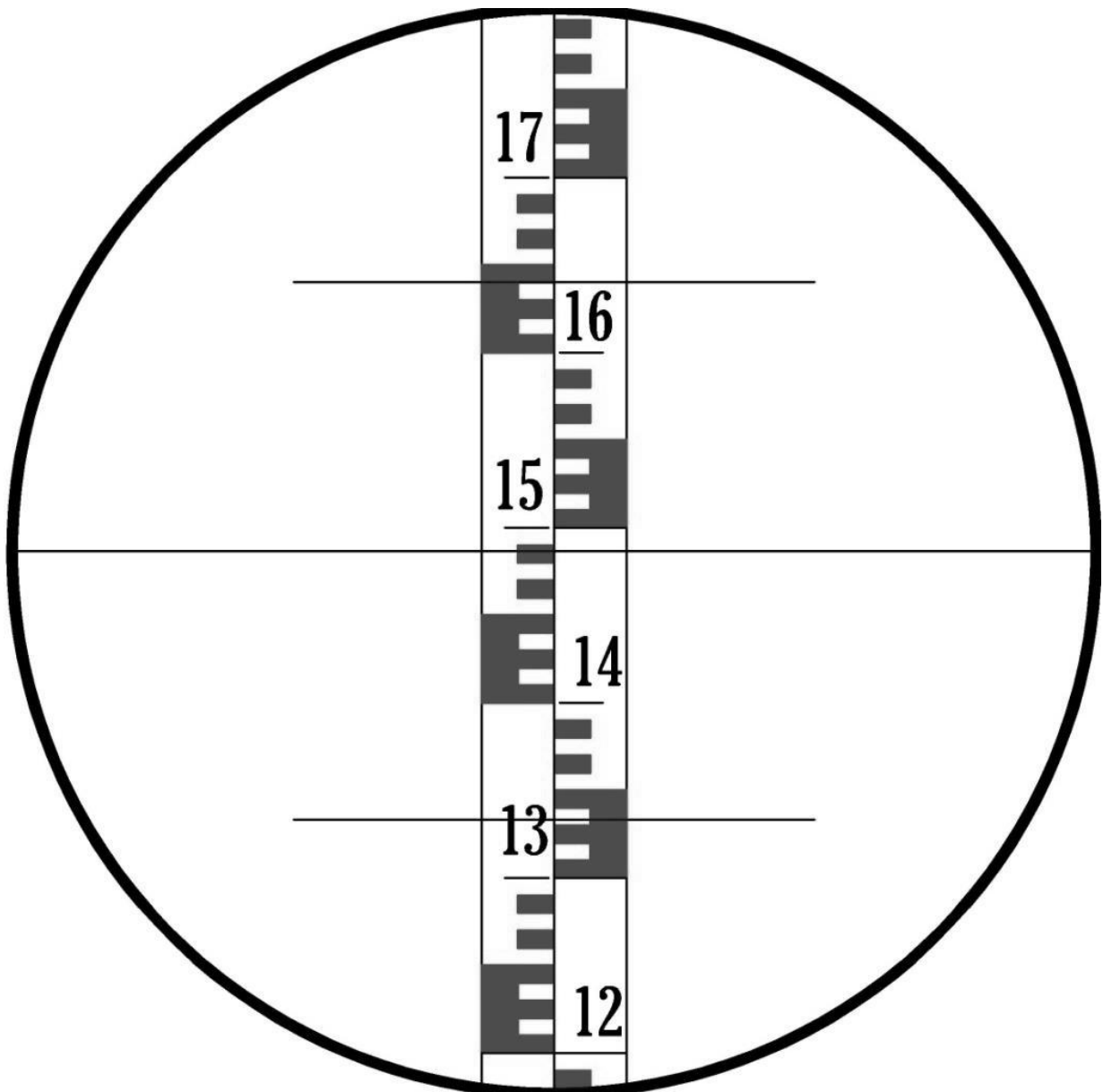


Figura 6-b: Sistema de lectura directa: hilo medio (Hilo Horizontal principal) 1,487. Los decímetros (14) se leen directamente, los centímetros (8) se cuentan tomando como referencia la graduación tipo "E", y los milímetros (7) se estiman. Las lecturas de hilo superior e inferior respectivamente son 1,641 y 1,333.

Algunos niveles de línea estaban equipados con anteojos que brindaban una imagen invertida (Fig. 6-c). Para estos niveles se requerían miras construidas con la numeración invertida.

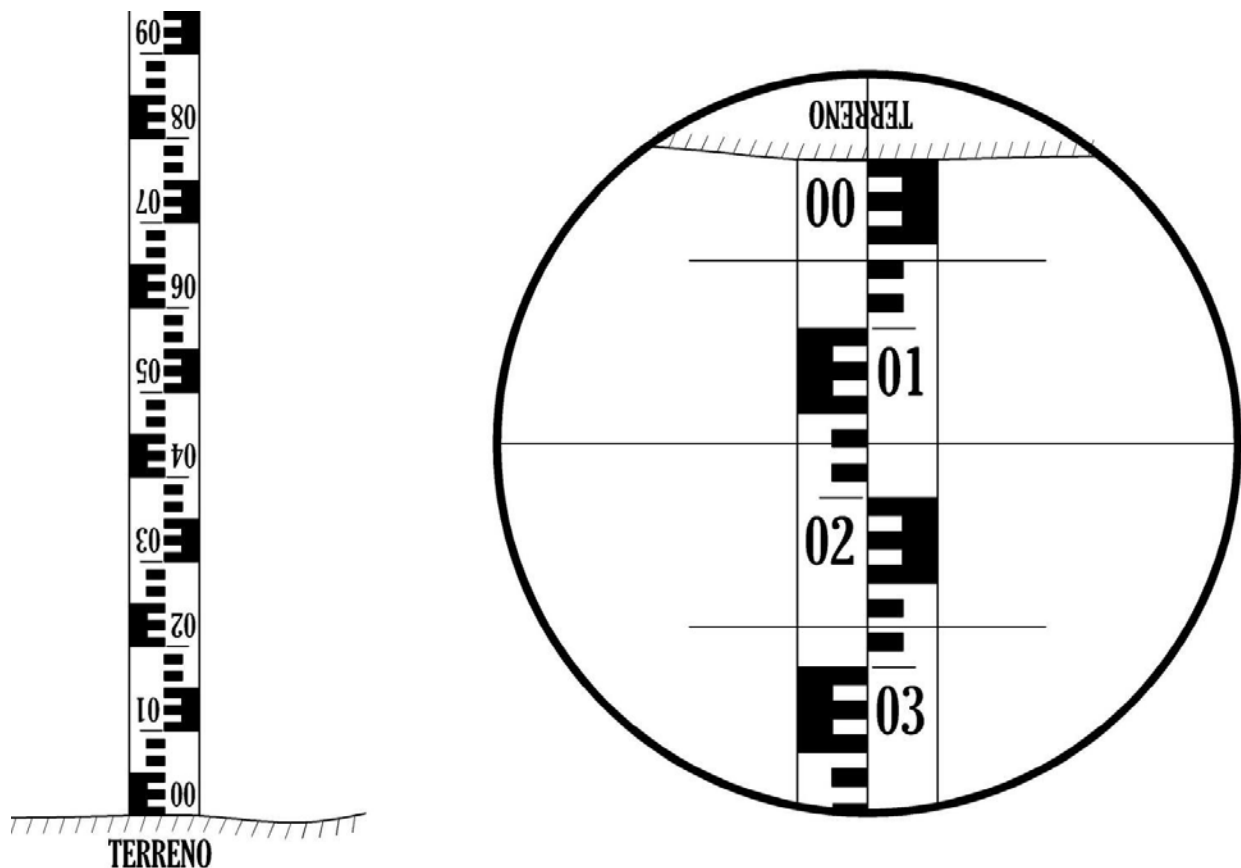


Figura 6-c: Izquierda: Mira con graduaciones invertidas. Derecha: colimación a mira de graduaciones invertidas con un nivel de línea. Lectura de hilo medio (Hilo Horizontal principal) 0,168. Los decímetros (01) se leen directamente, los centímetros (6) se cuentan tomando como referencia la graduación tipo “E”, y los milímetros (8) se estiman. Las lecturas de hilo superior e inferior respectivamente son 0,060 y 0,276. Nótese que para este tipo de lectura, el hilo superior es menor que el hilo inferior ya que la imagen está invertida.

En los niveles digitales se utilizan miras que en una de las caras presentan como graduación un código de barras y en la otra cara la graduación normal para ser utilizado con niveles automáticos.

5-Nivelación geométrica.

Determinación del desnivel entre dos puntos: El objetivo de la nivelación es determinar la diferencia de altura entre dos puntos, denominada desnivel. Para ello se utiliza un nivel de anteojo y miras. Con el nivel se establece una visual horizontal y se toman las lecturas sobre miras colocadas en posición vertical sobre los puntos cuyo desnivel se pretende conocer (Fig. 7). Esta operación topográfica, realizada mediante un nivel de anteojo y miras, se denomina Nivelación Geométrica.

Las alturas de los puntos del terreno también pueden ser determinadas por otros métodos, como por ejemplo el método de nivelación trigonométrica. Este método se basa en la medición de ángulos verticales con un teodolito (o estación total). La nivelación trigonométrica es más rápida y menos precisa que la nivelación geométrica.

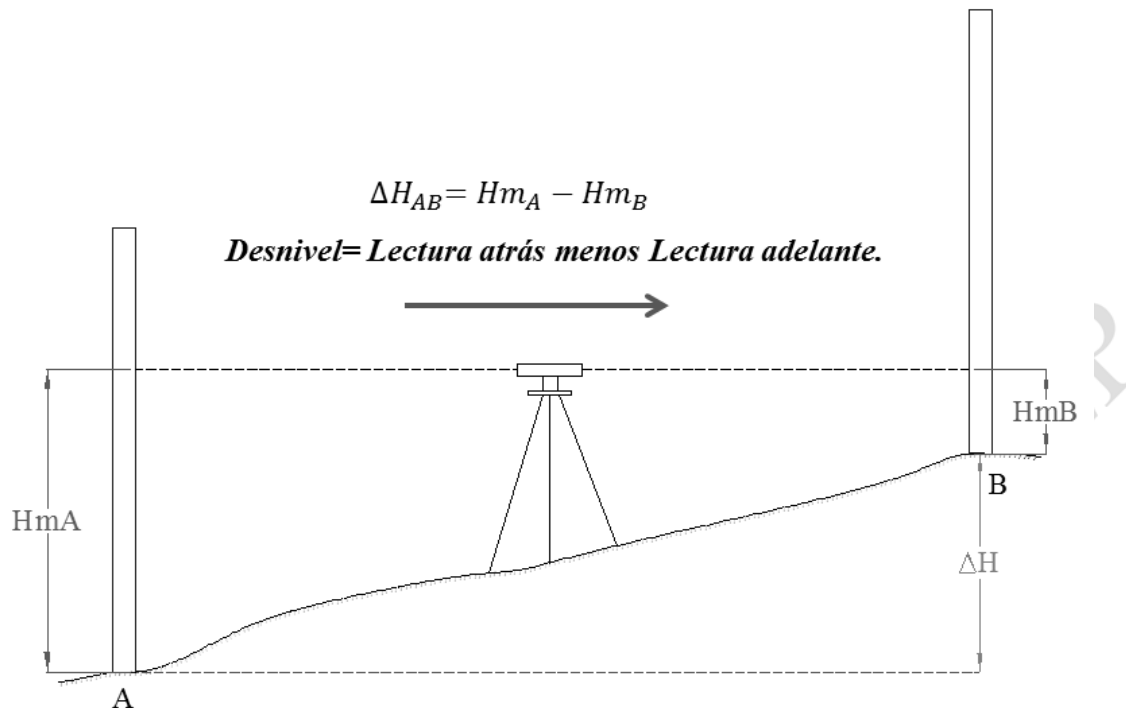


Figura 7: Medición geométrica del desnivel entre dos puntos A y B. Miras verticalizadas sobre los puntos A y B, y visual horizontal dada por el nivel de anteojo.

Para reducir los efectos de los errores instrumentales del nivel, es preferible que éste se ubique en forma equidistante entre los dos puntos (nivelación desde el medio).

La metodología es la siguiente (fig. 7):

- 1) Se estaciona el nivel en forma equidistante entre los dos puntos A y B.
- 2) Se coloca una mira en posición vertical en el punto A.
- 3) Se cala el nivel esférico con la ayuda, primero de las patas del trípode y luego de los tornillos calantes.
- 4) Se apunta hacia la mira en A hasta que aparezca en el campo del anteojo, accionando los tornillos de fijación y de pequeños movimientos acimutales. A continuación se enfoca sucesivamente el retículo y la mira.
- 5) Conseguido el enfoque, si el nivel es de línea (convencional o de burbuja partida) deberá centrarse la burbuja del nivel tubular mediante el tornillo de elevación o cabeceo. Si el nivel es automático, con el centrado el nivel esférico (Paso 3) es suficiente.
- 6) Establecida la horizontalidad del eje de colimación, se toma la lectura sobre la mira atrás en el punto A, leyéndose los tres hilos del retículo. Antes de proseguir, deberá verificarse que el promedio de los hilos superior e inferior coincida con el valor del hilo medio leído (ver ítem 9- Retículo Estadimétrico).
- 7) Se coloca la mira en el otro punto B y se toma lectura adelante en ese punto. Leyendo los tres hilos y haciendo el mismo control de lecturas que en el punto A. Si el nivel es de línea, antes de realizar la lectura debió centrarse la burbuja del nivel tubular.
- 8) Luego la diferencia entre las lecturas de hilos medios atrás y adelante determinará el desnivel entre los dos puntos A y B (ΔH_{AB}). Este cálculo se realiza con las lecturas de hilo medio, no con los promedios.

$$\Delta H_{AB} = Hm_A - Hm_B$$

6- Error de Colimación.

El error de colimación es el más importante de los errores instrumentales que afectan a los niveles ópticos o de anteojo. Se trata de un error del tipo sistemático y afecta a las lecturas de mira. A causa del error de colimación, las lecturas efectuadas sobre las miras tendrán valores mayores o menores a los correctos. Éste error del instrumento es debido a que, en condiciones de medición, el eje de colimación forma un ángulo (α en las figuras 8, 9 y 10) con la horizontal. Si un nivel tiene error de colimación, la magnitud y signo de éste error se mantiene constantes; mientras que el efecto ε en las lecturas varía en función de la distancia a la mira. A mayor distancia entre nivel y mira, mayor error en las lecturas.

Dependiendo de que el nivel sea de línea o automático, la causa del error de colimación será diferente, pero el resultado final es el mismo: estando el nivel en condiciones de medir, la visual que debería ser horizontal no lo será. Esto causa errores sistemáticos en las lecturas de mira.

A continuación se describe como se manifiesta el error de colimación en niveles de línea y automáticos:

A- En Niveles de Línea: Centrada la burbuja del nivel tubular, la visual correspondiente al hilo medio no es horizontal. Esto se debe a que los ejes de colimación y del nivel tubular no son paralelos (Fig. 8). Las proyecciones de los dos ejes mencionados sobre un plano vertical deberían ser paralelas, pero a causa del error de colimación no lo son.

En los niveles de línea existe también el llamado *error de cruce*. Se produce cuando hay falta de paralelismo, entre las proyecciones de los ejes de colimación y del nivel tubular, sobre un plano horizontal. Los efectos del error de cruce son poco importantes y no se consideran en los trabajos de topografía convencionales.

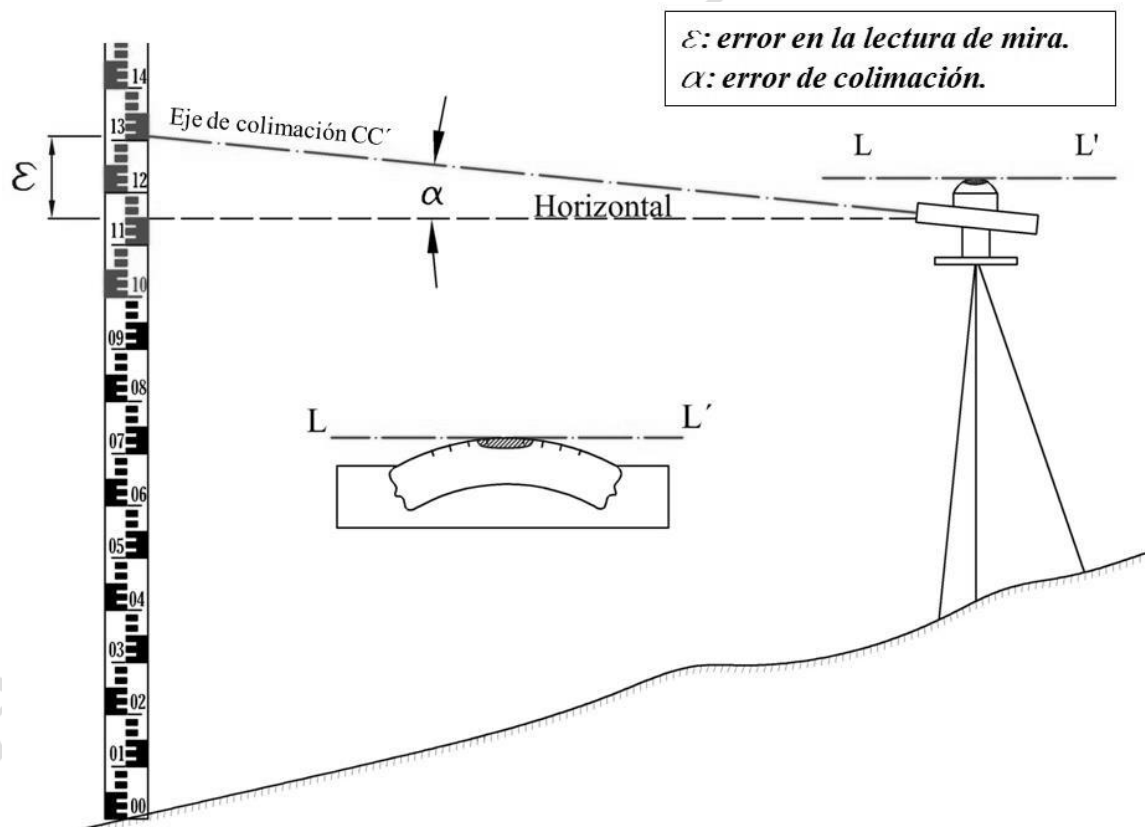


Figura 8: Error de colimación en un nivel de línea. Centrada la burbuja del nivel tubular, su eje LL' se halla en posición horizontal, pero al no ser paralelo con el eje de colimación, éste último no dirigirá visuales horizontales.

B- En Niveles Automáticos: Estando centrada la burbuja del nivel esférico y por lo tanto el compensador en rango de trabajo, la visual horizontal que atraviesa al centro óptico del objetivo no pasará por el retículo (Fig. 9). La posición del retículo no es la correcta, por lo tanto la lectura de hilo medio no se corresponde con una visual horizontal.

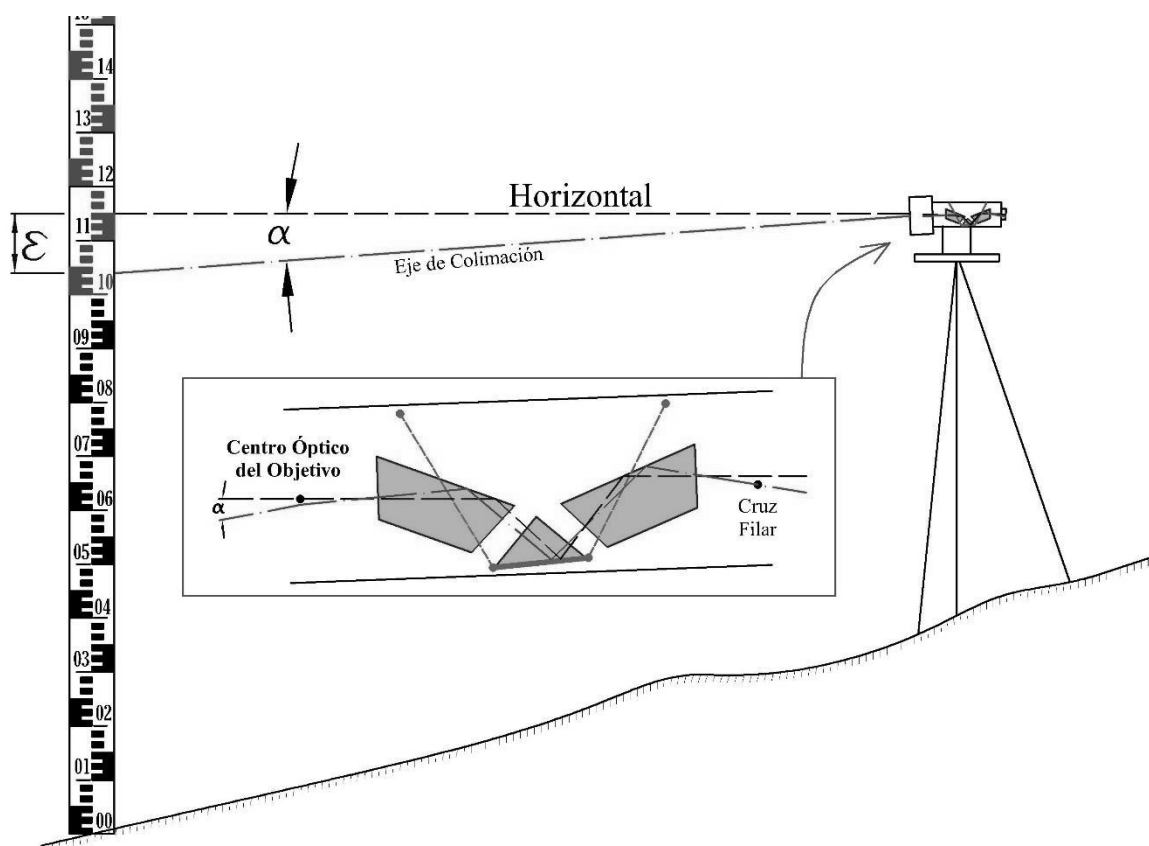


Figura 9: Error de colimación en un nivel Automático. La posición del retículo no es la correcta, por lo tanto la lectura de hilo medio no se corresponde con una visual horizontal.

7- Determinación práctica del error de colimación en el nivel de antejo.

Para cualquier tipo de nivel: de línea, automático o digital, la existencia del error de colimación puede verificarse de la siguiente manera:

1º) Se coloca el instrumento equidistante entre ambas miras colocadas en A y B (se recomienda que esté alineado entre ellas) y se efectúan lecturas de mira atrás y adelante Hm'_A y Hm'_B (Fig. 10-a).

Obsérvese que, aunque exista un error de colimación en el equipo, el desnivel hallado (ΔH) es el verdadero, puesto que la equidistancia entre instrumento y miras hace que el efecto ε de este error incida con igual signo y magnitud en ambas lecturas (fig.: 10-a).

$$\Delta H = Hm_A - Hm_B \quad (\text{Donde } Hm_A \text{ y } Hm_B \text{ no se conocen})$$

$$Hm_A = Hm'_A - \varepsilon \quad Hm'_A : \text{Lectura de hilo medio en A.}$$

$$Hm_B = Hm'_B - \varepsilon \quad Hm'_B : \text{Lectura de hilo medio en B.}$$

$$\Delta H = Hm_A - Hm_B = (Hm'_A - \varepsilon) - (Hm'_B - \varepsilon)$$

$$\Delta H = Hm'_A - Hm'_B$$

2º) Se traslada el instrumento próximo a B colocándolo a la menor distancia de lectura de mira (Aprox. 1 m), y se vuelve a leer en ambas miras hm'_A y hm'_B (siempre teniendo la precaución de verificar el centrado de

la burbuja inmediatamente antes de cada lectura cuando se trate de un nivel de línea). El nuevo desnivel obtenido $\Delta H'$ no se midió desde el medio, por lo tanto puede estar afectado por el error de colimación.

$$\Delta H' = hm'_A - hm'_B$$

Luego se verifica la igualdad entre los dos desniveles medidos:

$$\text{Si } \Delta H' \neq \Delta H \quad \Rightarrow \quad \text{existe error de colimación}$$

Dónde:

ΔH : desnivel medido desde la estación equidistante a las miras (sin error).

$\Delta H'$: desnivel medido desde la estación próxima al punto B (con error).

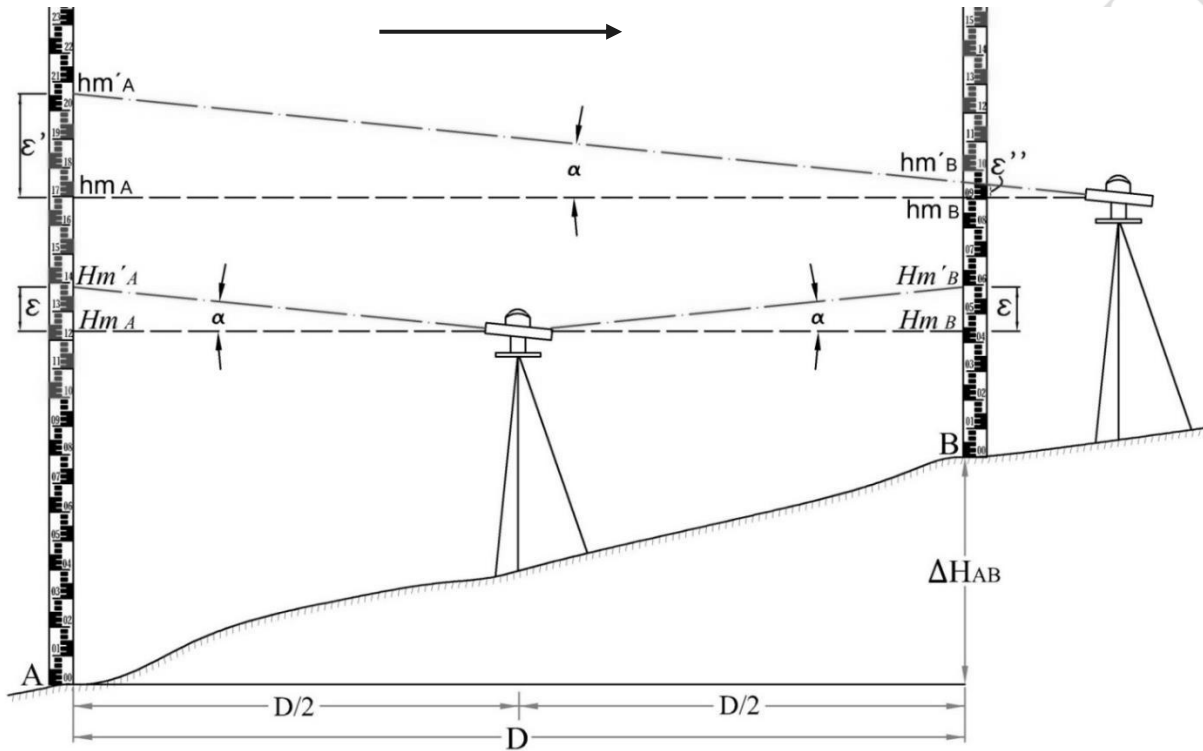


Figura 10-a: Detección del error de colimación en un nivel de anteojo (Procedimiento válido tanto para aparatos Automáticos y como de Línea). Solamente se representaron lecturas de hilos medios.

$$\Delta H_{AB} = Hm'_A - Hm'_B$$

$$\Delta H'_{AB} = hm'_A - hm'_B$$

$$e = \Delta H'_{AB} - \Delta H_{AB}$$

e : Error en el desnivel medido.

Si e resulta ser distinto a cero (0) entonces existe un error de colimación en el Nivel.

En la figura 10-a, la existencia de un error de colimación α causa los siguientes errores de lectura en las miras:

ϵ : Error en las lecturas atrás y adelante cuando el nivel está estacionado equidistante de A y B.

ϵ' : Error en la lectura atrás cuando el nivel está estacionado próximo al punto B.

ϵ'' : Error en la lectura adelante cuando el nivel está estacionado próximo al punto B.

Demostración:

$$\Delta H'_{AB} = hm'_A - hm'_B = (hm_A + \varepsilon') - (hm_B + \varepsilon'') = (hm_A - hm_B) + (\varepsilon' - \varepsilon'')$$

$$\Delta H_{AB} = hm_A - hm_B$$

hm_A y hm_B son desconocidas.

$$e = \varepsilon' - \varepsilon''$$

Cuando se nivela desde el medio $\varepsilon' = \varepsilon'' = \varepsilon$

$$\Delta H'_{AB} = \Delta H_{AB} + e$$

$$e = \Delta H'_{AB} - \Delta H_{AB}$$

Se calculará el error de colimación (α) existente en el nivel de antejo:

$$\alpha'' = \frac{e}{D} \cdot \rho'' \qquad \rho'' = \frac{180}{\pi} \cdot 3600 \approx 206265''$$

D: Distancia entre los puntos nivelados A y B (**Distancia entre las miras**)

El error de colimación (α) expresado en radianes también es denominado **error específico**.

Recuerde que (α) es un error del instrumento, mientras que (e) es el error en el desnivel $\Delta H'_{AB}$.

3º) Corrección de las lecturas: Si se admite que ε'' es prácticamente igual a cero (dada la reducida distancia instrumento-mira) luego se puede calcular la lectura correcta hm_A de la mira en A para la última estación del nivel (Próximo a B).

$$e = \varepsilon' - \varepsilon'' = \varepsilon' \qquad (\text{admitiendo que } \varepsilon'' \text{ es prácticamente cero.})$$

$$hm_A = hm'_A - \varepsilon' = hm'_A - e$$

hm_A : es la lectura que se hubiera realizado a la mira A (estación desde un extremo) si el equialtímetro no tuviese error de colimación.

Las figuras 10-b, 10-c y 10-d muestran tres ejemplos diferentes de la determinación del error de colimación.

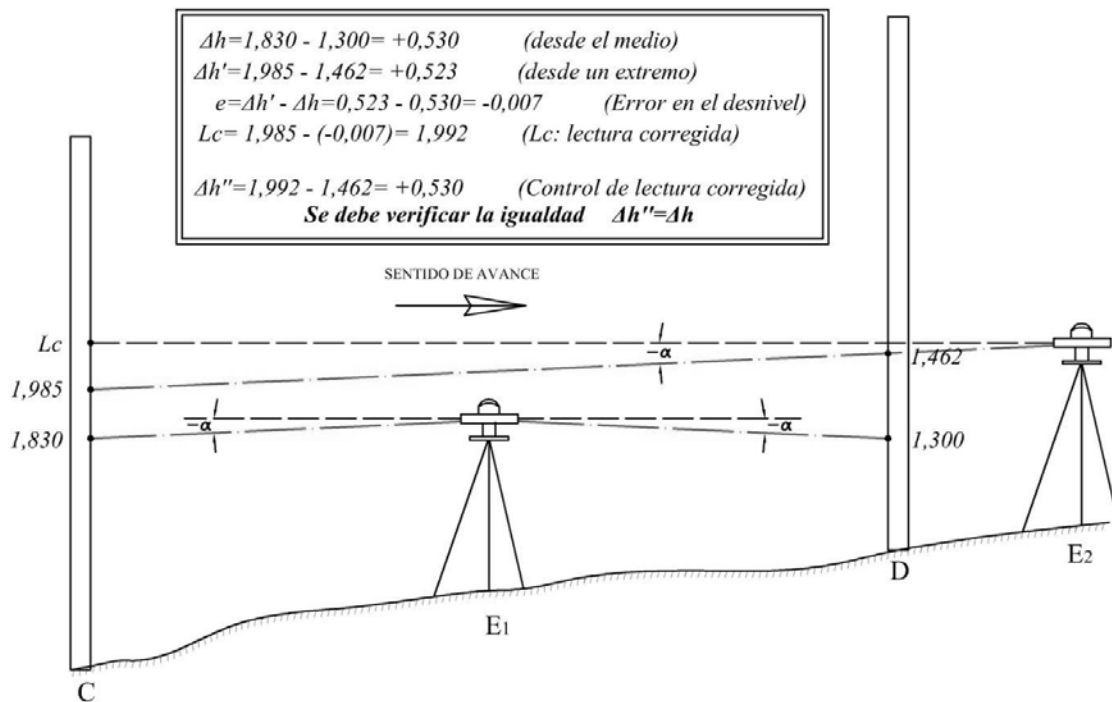


Figura 10-b: Determinación del error de colimación. Ejemplo 1: Desnivel positivo y error de colimación negativo. En la figura solo se indican lecturas de hilo medio.

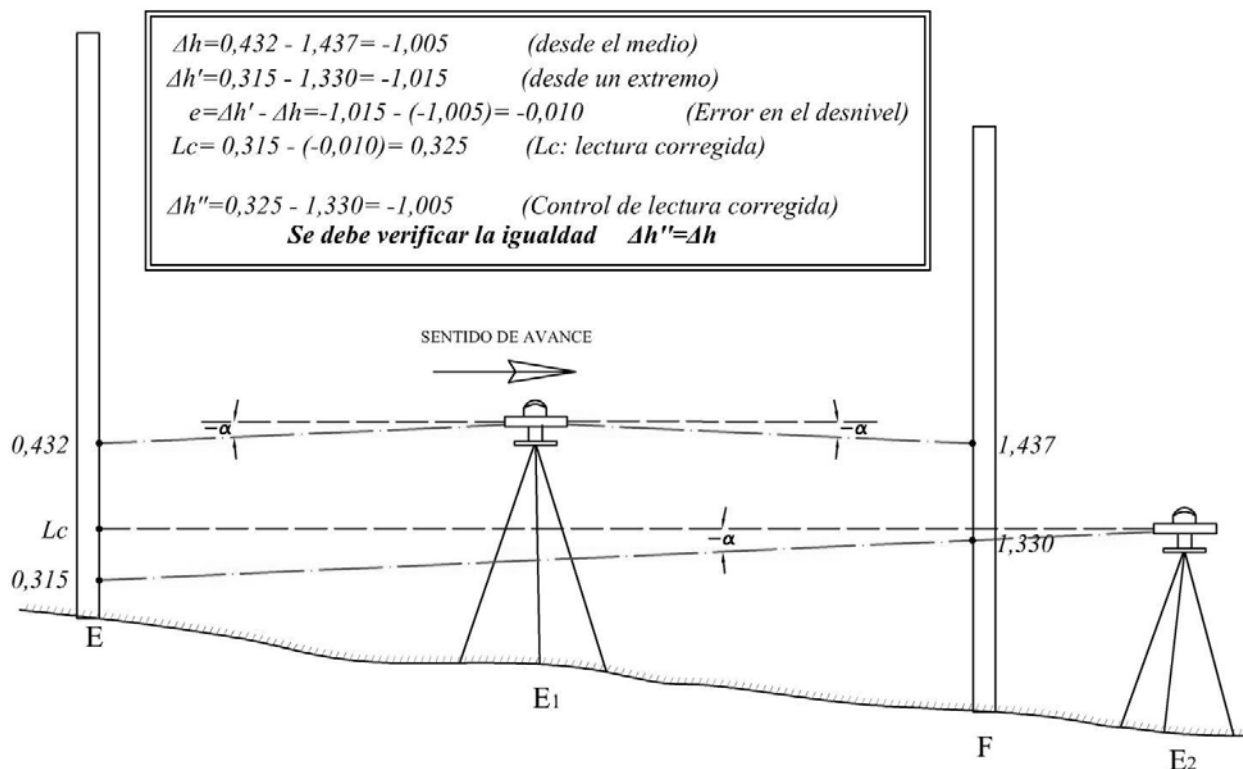


Figura 10-c: Determinación del error de colimación. Ejemplo 2: Desnivel negativo y error de colimación negativo. **En la figura solo se indican lecturas de hilo medio.**

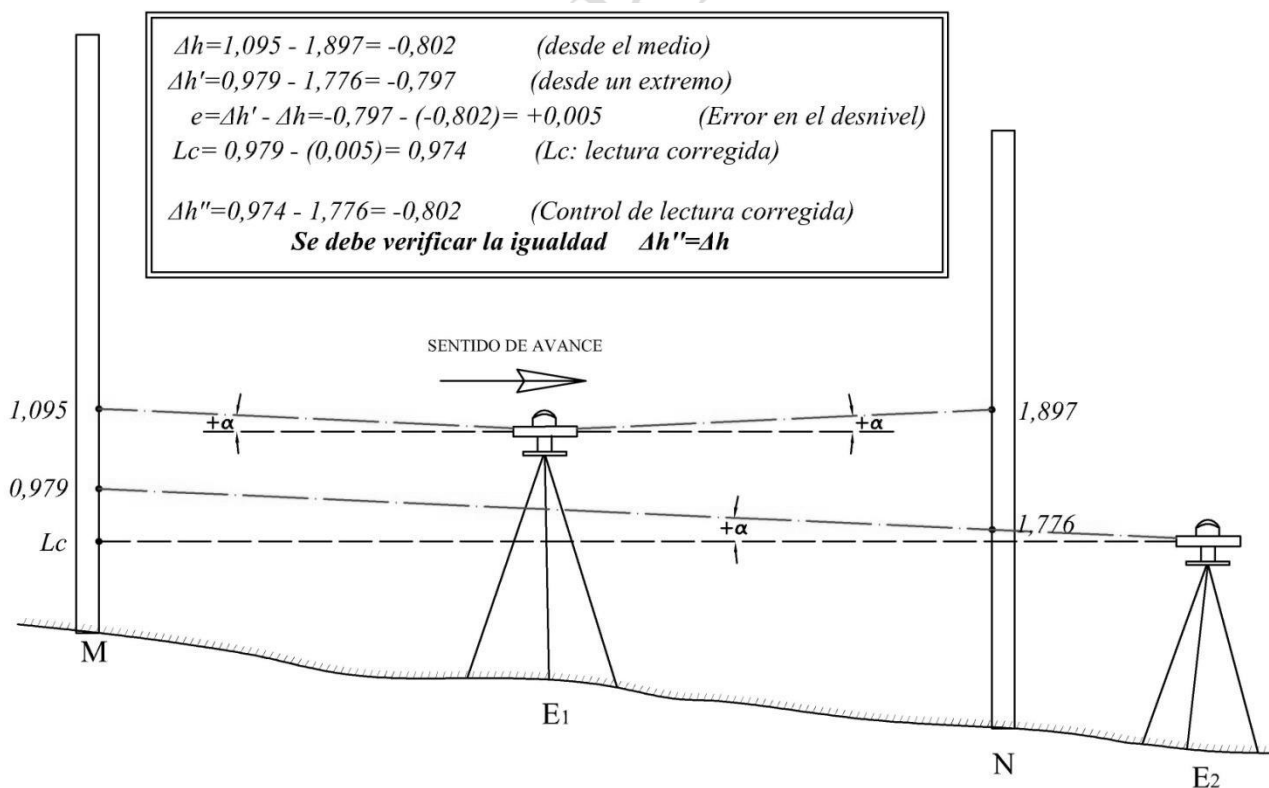


Figura 10-d: Determinación del error de colimación. Ejemplo 3: Desnivel negativo y error de colimación positivo. **En la figura solo se indican lecturas de hilo medio.**

8- Corrección instrumental del error de colimación.

Estando aun el nivel estacionado próximo al punto B, se deberá provocar la lectura corregida hm_A , esta tarea varía según el tipo de instrumento:

A- En Niveles de Línea: Se debe accionar el tornillo de elevación (Fig.: 11) hasta provocar la lectura de hilo medio hm_A calculada antes, esta acción hace girar al anteojo levemente alrededor de su eje horizontal, con lo cual la burbuja del nivel tubular deja de estar centrada. Por lo tanto debe volver a centrarse la burbuja sin alterar la lectura correcta obtenida (sin mover el anteojo), éste centrado se hace mediante unos tornillos de corrección especiales (fig.: 11). De esta manera, se ha provocado la lectura correcta en la mira y se encuentra a su vez el nivel tubular calado, esto significa haber eliminado del aparato el error de colimación. Realizada esta operación los ejes del nivel tubular y el eje de colimación son paralelos.

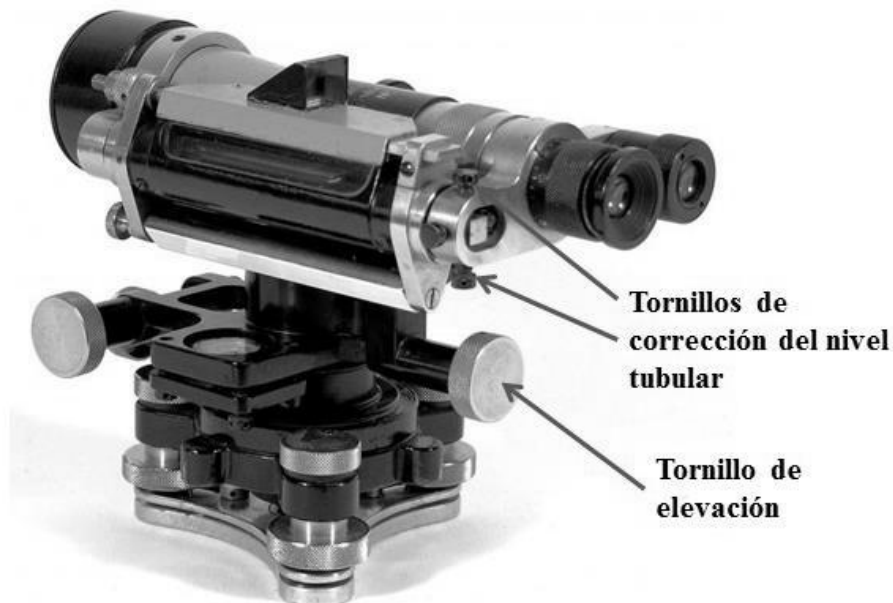


Figura 11: Nivel de Línea.

B- En Niveles Automáticos: Deberá retirarse con sumo cuidado la tapa que resguarda los tornillos de corrección del retículo (Fig. 12-a), luego se ajustaran o desajustarán estos tornillo (Fig. 12-b) hasta provocar la lectura correcta hm_A antes calculada. Con este procedimiento se elimina el error de colimación de los niveles automáticos, llevando el retículo a su posición correcta.



Figura 12-a: Nivel Automático. Tapa protectora de tornillo para corrección del retículo.

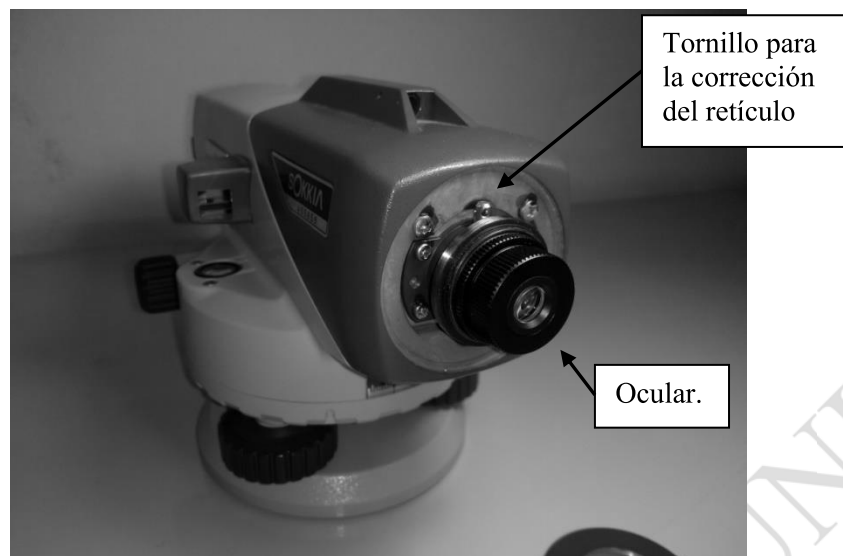


Figura 12-b: Nivel Automático, vista de los tornillos para la corrección del retículo.

El error de colimación es del tipo sistemático y su tratamiento conceptual es el mismo para niveles de Línea, Automáticos y Digitales. Su incidencia es particularmente importante en el caso de una nivelación desde un extremo, siendo nula cuando el instrumento equidista de las miras. De allí que en lo posible debe tenderse a esta última disposición del instrumental sobre el terreno, para anular la influencia del cualquier error residual de colimación.

9- Retículo estadimétrico.

El retículo presenta un hilo superior y otro inferior, como se puede observar en la figura 13, colocados simétricamente respecto al hilo medio.

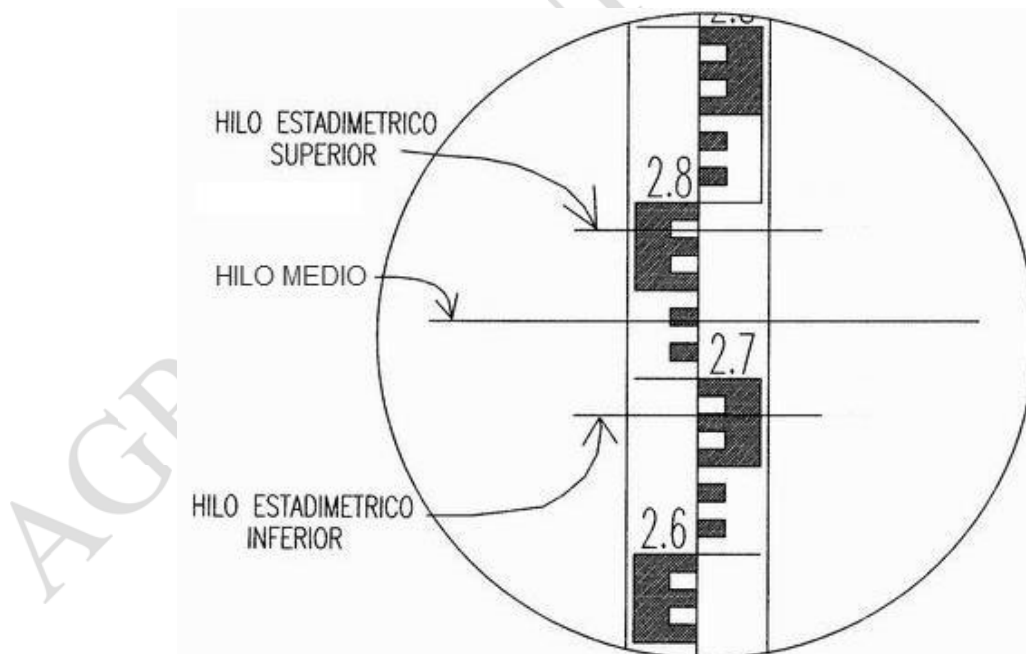


Figura 13: Hilo superior= 2,785 Hilo medio= 2,732 Hilo inferior= 2,679

Los hilos superior e inferior tiene como principal función la medición indirecta de distancias. Pero también cumplen un rol fundamental en el control de las lecturas del hilo medio. Hay muchos casos en que solo se necesitan las lecturas del hilo medio, no obstante siempre deben leerse a cada mira los tres hilos, ya que la lectura de los hilos superior e inferior se utiliza para control del hilo medio:

$$\text{hilo medio} = \frac{\text{hilo sup.} + \text{hilo inf.}}{2}$$

La lectura de hilo medio debe ser igual al promedio de los hilos superior e inferior, admitiéndose como máxima una diferencia de 1 mm. El promedio se utiliza solo como control, el valor correspondiente al hilo medio es el de la lectura realizada.

10- Medición de distancias por estadimetría.

Es un procedimiento que se utiliza para determinar la distancia entre dos puntos de forma indirecta, es un método rápido y que no requiere recorrer la distancia sobre el terreno. La precisión con la que se determina la distancia es del orden del decímetro ($\pm 0,1$ m).

Se procede de la siguiente manera:

Se toman las lecturas de los tres hilos y se realiza el control de lectura, verificando la igualdad del hilo medio con el promedio de los otros dos hilos. Se verifica de este modo que no hay errores de lectura.

Se calcula la diferencia entre las lecturas del hilo superior y del hilo inferior del retículo del anteojo. Luego, la diferencia entre ellos multiplicada por una constante K del instrumento da como resultado la distancia entre el instrumento y la mira. Esta constante multiplicativa puede variar según el modelo de nivel, pero en general su valor es de 100, en algunos pocos casos se utilizaron valores de 50 o 200. En los niveles más antiguos debe tenerse en cuenta además una constante aditiva C , en los aparatos modernos éste valor es cero. Los valores de la constantes multiplicativa K y de la constante aditiva C dependen de la construcción del anteojo del nivel.

Fundamentos del anteojo estadimétrico:

Constantes estadimétricas multiplicativa (K) y aditiva (C).

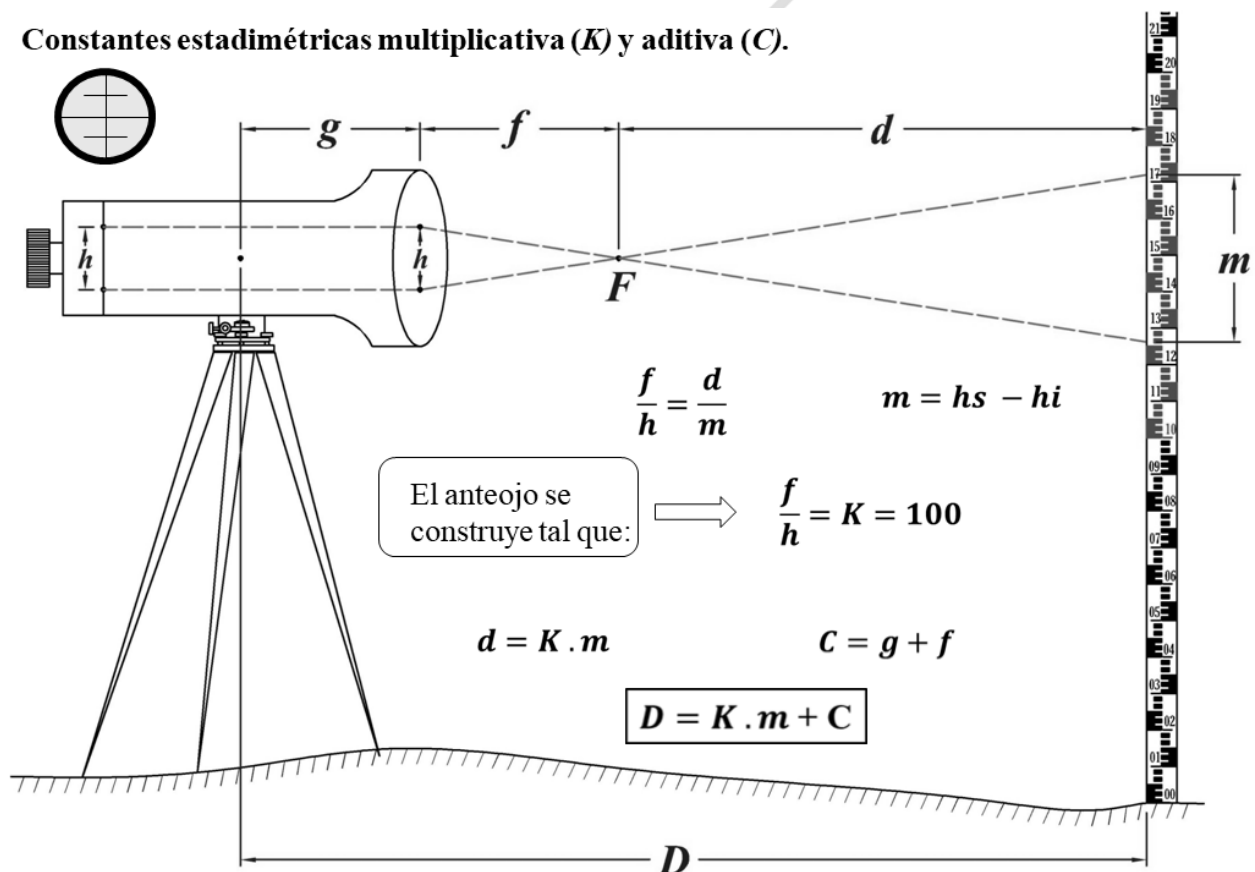


Figura 14: demostración de la ecuación de la estadimetría.

- f : distancia focal.
- F : foco del lente (o sistema de lentes) objetivo.
- g : distancia entre el centro geométrico del anteojo y el centro óptico del objetivo.

- h : separación entre los hilos superior e inferior.
- d : distancia entre el foco del objetivo y la mira, medida en la dirección de la visual.
- m : diferencia entre el hilo superior y el inferior.
- D : distancia entre el eje de giro del nivel de anteojo y la mira.

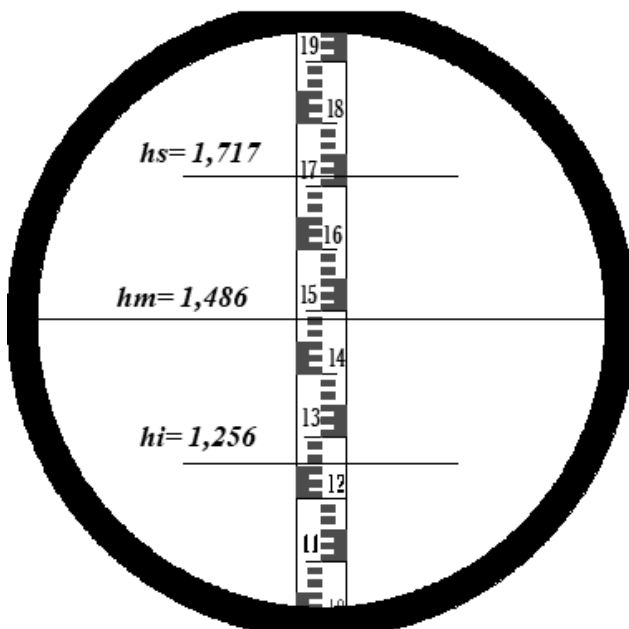
En la figura 14 se puede apreciar como las constantes estadimétricas K y C toman su valor de ciertas características técnicas de la construcción del anteojo. Los fabricantes de instrumentos eligen de manera conveniente las magnitudes de f , g y h para que los valores K y C sean números enteros.

En los niveles de línea, cuando el sistema de lectura es invertida, la diferencia m se obtiene con signo negativo, ya que el valor del hilo inferior es de mayor magnitud que el del hilo superior. En este caso se toma el valor absoluto de m , ya que lo importante es su magnitud y no su signo.

Por lo tanto la distancia entre el centro geométrico del nivel y el punto de apoyo de la mira se determina de forma indirecta mediante la expresión:

$$D = K \cdot m + C$$

Constantes estadimétricas multiplicativa (K) y aditiva (C).



$$D = K \cdot m + C$$

$$\frac{hs+hi}{2} = 1,4865$$

Lectura $hm = 1,486$

Determinación Indirecta de la Distancia (Estadimetría)

$$m = 1,717 - 1,256 = 0,461 \text{ [metros]}$$

$$K = 100 \quad C = 0,2$$

$$D = 100 \cdot 0,461 + 0,2$$

$$D = 46,3 \text{ [metros]}$$

Lecturas de mira al mm , por lo tanto la distancia se determina al $dm (\pm 10cm)$

50

Figura 15: ejemplo de una medición de distancia por estadimetría con un anteojo de $K=100$ y $C=0,20$.

11- Determinación práctica de las constantes estadimétricas del anteojo.

Las constantes estadimétricas K y C son establecidas por el fabricante de los instrumentos, dependen de ciertas características constructivas de cada anteojo. Cuando se adquiere un nivel óptico nuevo los valores de estas constantes son informados. Pero puede suceder que el usuario, por diferentes cuestiones, necesite utilizar un instrumento y no conozca los valores de K y de C , en ese caso estas constantes pueden ser determinadas mediante el siguiente procedimiento de campo.

Utilizando la cinta de Agrimensor deben marcarse sobre el terreno tres puntos O, M y N alineados, por ejemplo, a 0, 30 y 40 m. El nivel se coloca sobre el punto O y se realizan las lecturas de los tres hilos a una mira colocada primero en el punto M y luego en el N (Fig.: 16).

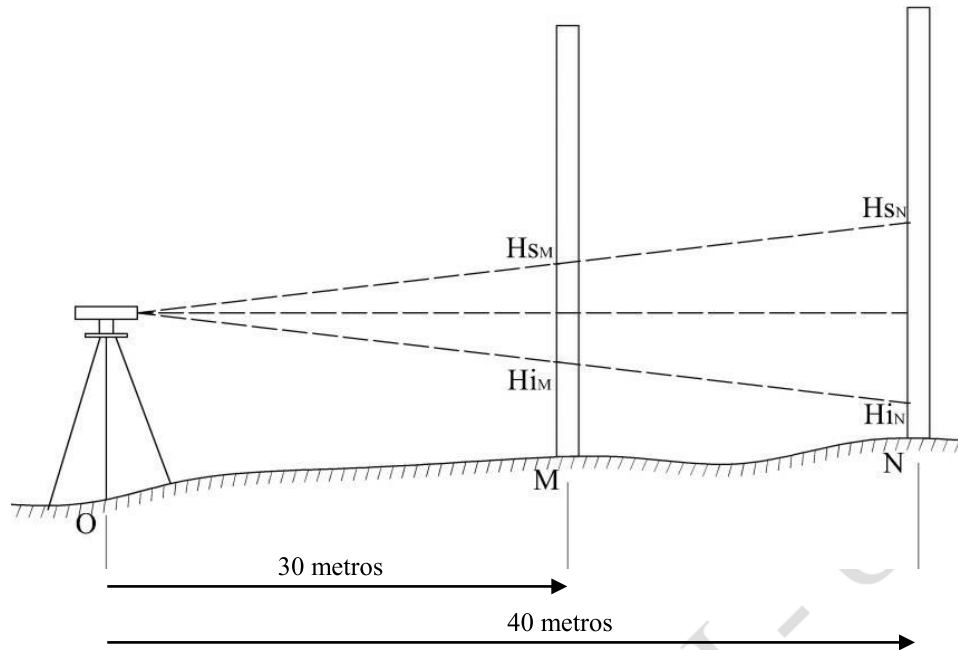


Figura 16: determinación en campo de las constantes estadimétricas del anteojo.

Utilizando las lecturas correspondientes de cada mira y las distancias conocidas sobre el terreno se deberán calcular la constante multiplicativa K y la constante aditiva C . Para lo cual se establece un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas (solución única):

$$D_1 = m_1 \cdot K + C \quad (1)$$

$$D_2 = m_2 \cdot K + C \quad (2)$$

$D_1=30$ metros y $D_2=40$ metros, son valores conocidos (Medidos con cinta), m_1 y m_2 surgen de las respectivas diferencias de hilo superior menos hilo inferior.

$$m_1 = H_{SM} - H_{iM}$$

$$m_2 = H_{sN} - H_{iN}$$

Resolviendo este sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas se obtiene la solución:

$$D_1 - D_2 = (m_1 \cdot K + C) - (m_2 \cdot K + C) = (m_1 - m_2) \cdot K$$

$$K = \frac{D_1 - D_2}{m_1 - m_2}$$

Reemplazando K en cualquiera de las dos ecuaciones (1) o (2):

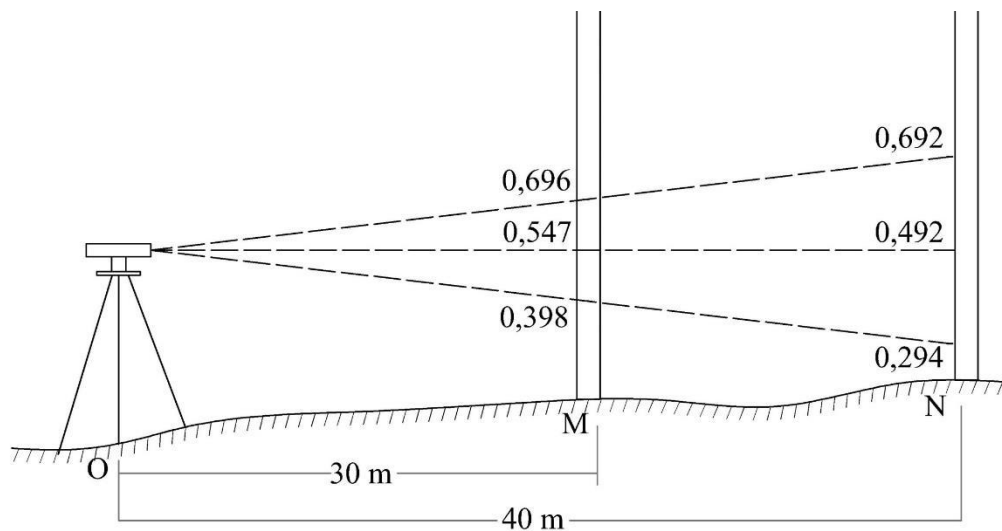
$$D_1 = m_1 \cdot \left(\frac{D_1 - D_2}{m_1 - m_2} \right) + C \quad \Rightarrow \quad C = D_1 - m_1 \cdot \left(\frac{D_1 - D_2}{m_1 - m_2} \right) = D_1 - \frac{m_1}{m_1 - m_2} (D_1 - D_2)$$

$$C = D_1 - \frac{m_1 (D_1 - D_2)}{m_1 - m_2} = \frac{D_1 \cdot (m_1 - m_2) - m_1 \cdot (D_1 - D_2)}{m_1 - m_2} = \frac{D_1 \cdot m_1 - D_1 \cdot m_2 - m_1 \cdot D_1 + m_1 \cdot D_2}{m_1 - m_2}$$

$$C = \frac{D_2 \cdot m_1 - D_1 \cdot m_2}{m_1 - m_2}$$

De este modo, a partir de aplicar la ecuación de la estadimetría a distancias conocidas, pueden determinarse de forma práctica las constantes K y C . Se debe tener en cuenta que un milímetro de error en alguna de las lecturas de mira puede provocar variaciones importantes en los resultados. Por lo tanto es conveniente realizar esta operación más de una vez.

EJEMPLO: Determinación práctica de las constantes estadimétricas multiplicativa (K) y aditiva (C).



- D_1 y D_2 son conocidas.
- Control de Lecturas de Hilos.

$$\frac{0,696 + 0,398}{2} = 0,547$$

$$\frac{0,692 + 0,294}{2} = 0,493$$

- Cálculo de m_1 y m_2 :

$$m_1 = 0,695 - 0,398 = 0,298$$

$$m_2 = 0,692 - 0,294 = 0,398$$

- Cálculo de K y C :

$$K = \frac{D_1 - D_2}{m_1 - m_2} = \frac{30 - 40}{0,298 - 0,398} = 100$$

$$C = \frac{D_2 \cdot m_1 - D_1 \cdot m_2}{m_1 - m_2} = \frac{40 \times 0,298 - 30 \times 0,398}{0,298 - 0,398} = 0,2$$

12- Determinación del Aumento de un antejo

Se coloca la mira a una distancia aproximada de 5 m y se la observa simultáneamente por dentro y por fuera del antejo (es decir utilizando los dos ojos). Con un pequeño esfuerzo visual se logra prolongar los hilos superior e inferior del retículo e interceptar la mira en lugares que el mirero, provisto de un lápiz marcará siguiendo las instrucciones del operador.

$$A = M / m$$

Donde M y m son los segmentos interceptados por fuera y por dentro del antejo y A es el aumento.

13- Bibliografía de referencia.

- R. Müller - Compendio General de Topografía: “Triangulación y nivelación”. Año 1951.
- Roberto Müller - Compendio General de Topografía: Tomo II “Óptica, Teodolitos y Poligonaciones”. Año 1933
- Jordan - Tratado general de Topografía – 9 edición, 1978.
- García Tejero - Topografía General y Aplicada – 13 edición, 1998.
- Chueca Pazos - Tratado de Topografía Tomo 1 - 1996.
- Wolf y Ghilani – Topografía – 11 edición, 2008.