

APUNTES DE TOPOGRAFÍA

TEMA3 NIVELACION

1. MEDICION DIRECTA E INDIRECTA DE DESNIVELES

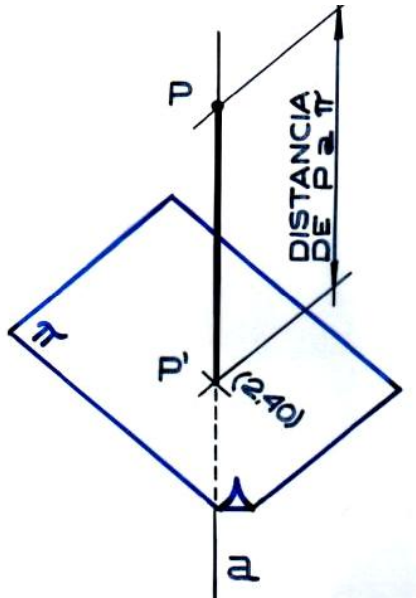


Fig. 59

Los puntos del terreno quedan representados, mediante el método de proyecciones acotadas utilizado por la Topografía, determinando puntos tales como el P' (fig. 59), intersección de la recta a-proyectante de P- con el plano horizontal π . Atendiendo a que P' es imagen de los infinitos puntos de a, para que P quede individualizado, es imprescindible conocer en magnitud y sentido el valor del segmento PP', distancia del punto P al plano π .

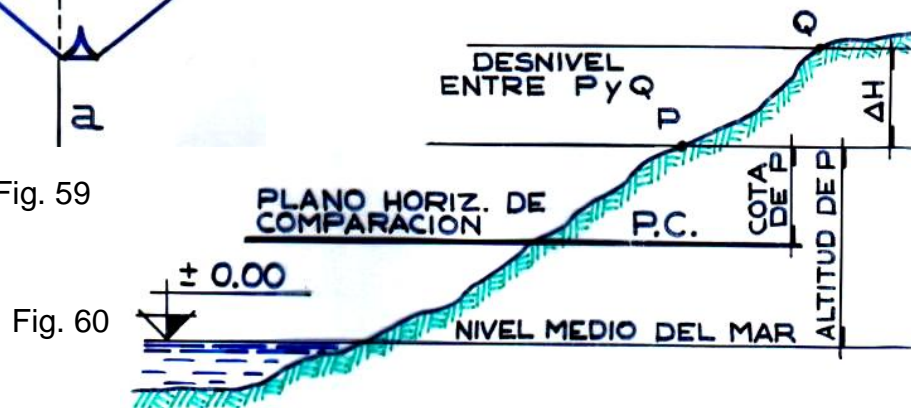


Fig. 60

La solución de este problema da origen a un conjunto de operaciones que requieren la utilización de instrumental apropiado y que constituyen lo que genéricamente se conoce como procedimientos alimétricos.

La distancia de cada punto al plano arbitrario de comparación se denomina **cota del punto**, y según que éste, esté situado arriba o debajo de dicho plano, la cota será positiva o negativa respectivamente.

Resulta conveniente que en vez de elegir un plano de comparación arbitrario, se adopte el del nivel medio del mar, obtenido mediante mareógrafos actuando durante lapsos suficientemente extensos como para poder considerar que no se encuentra afectado por las corrientes ni las mareas. Cuando el plano de comparación escogido es el nivel medio del mar, la cota se denomina **altitud**.

En nuestro país se adopta oficialmente el nivel medio del mar proporcionado por el mareógrafo situado en el puerto de Mar del Plata, plano de comparación llamado Cero del I.G.M. (Instituto Geográfico Militar).

Las cotas determinadas por las empresas ferroviarias y por la Dirección General de Navegación y Puertos del M. O. P. de la Nación están referidas al cero del Mareógrafo del Riachuelo; plano que pasa a 19 metros debajo de la estrella grabada en el peristilo de la Catedral de Bs. As. y corresponde al nivel medio de las aguas bajas ordinarias del Río de la Plata. Ésta se encuentra a 0,5558 m sobre el cero del I.G.M.

EMPLEO DE DIVERSOS CEROS PARA LA NIVELACION EN LA REPUBLICA ARGENTINA. ("DATUM")

O. S. N.:

1) Plano adoptado por Obras Sanitarias de la Nación y la Dirección de Catastro de la Municipalidad de Buenos Aires:

Consiste en un plano arbitrariamente elegido, que pasa a 100 pies ingleses, o sea 30,479 m por debajo del dibujo en forma de estrella que existe en el peristilo de la Catedral de Buenos Aires, en correspondencia con la entrada central a la Catedral. (año 1894).

Para referir cotas de este sistema al sistema del I. G. M. deberá restarse 12,035 m.

M. O. P.:

2) Plano adoptado por la Dirección General de Navegación y Puestos del M. O. P. y todos los ferrocarriles del país, y establecido como "punto de referencia de la altimetría del país" por Acuerdo de Ministros del 28-7-1899.

Llamado comúnmente "el cero del Riachuelo", pues se basa en una determinación del nivel de aguas bajas ordinarias del Río de La Plata, efectuada mediante un mareógrafo instalado en el acceso al Canal Sur, en la desembocadura del Riachuelo.

Para referir cotas de este sistema al sistema del I. G. M. deberá restarse 0,556 m.

I. G. M.:

3) Superficie del NIVEL MEDIO DEL MAR (n. m. m.) determinada por el Servicio de Hidrografía Naval mediante sus mareógrafos situados frente a Mar del Plata.

Responde a necesidades científicas y a requerimientos internacionales. Es la superficie adoptada para los trabajos geodésicos y para la cartografía del I. G. M., del S. H. N. y las reparticiones técnicas de la Pcia. de Buenos Aires.

RESUMEN

O. S. N. - 12,035 m = I. G. M.

M. O. P. - 0,556 m = I. G. M.

O. S. N. - 11,479 m = M. O. P.

Acotaciones:

Línea de ribera del Río de La Plata, s/Decreto del 31 de mayo de 1895 (aguas altas ordinarias); la cota I. G. M. es 0,969 m.

Nivel medio anual del Río de La Plata: 0,226 m. (I. G. M.)

Chapa de Catastro de mayor cota en la ciudad de Buenos Aires (Chapa N° 1965, Beiró y Gualeguaychú: 39,391 m (O. S. N.) y 6,356 m (I. G. M.)

Chapa más baja (N° 4749, puente calle Salguero) 12,822 m (O. S. N.) y 0,767 m (I. G. M.)

Es tal la costumbre en el ámbito técnico de usar indistintamente los términos cota y altitud, que resulta recomendable mencionar siempre el plano horizontal de referencia, para evitar confusiones.

El desnivel entre dos puntos P y Q (fig 60) es la diferencia de sus distancias al plano de comparación, o sea la diferencia de sus cotas, y el mismo es independiente del cero adoptado. Si se conoce la cota de un punto (o se le asigna una arbitrariamente) pueden conocerse las de los restantes que interesen, referidas al mismo cero, adicionando a la cota conocida el desnivel respectivo.

El conjunto de operaciones encaminadas a determinar el desnivel entre dos o más puntos, se denomina **nivelación** y según sea el procedimiento utilizado puede ser geométrica (o por alturas), trigonométrica (o por pendientes) o barométrica. La primera también se denomina medición directa de desniveles, siendo la más precisa, siguiéndola en el orden enunciado en cuanto a la precisión, las dos restantes constituyen la medición indirecta de desniveles.

2. NIVELACION GEOMETRICA

El equipo de nivelación geométrica consta esencialmente de un equialtímetro o nivel de anteojo o nivel óptico, y de un par de miras (escalas graduadas) en las que se efectúan las lecturas. Esta última circunstancia hace que las miras deban considerarse parte integrante del instrumento y por ello deben ser de calidad acorde con la del equialtímetro, y su conservación debe ser tan esmerada como la de éste.

El equialtímetro 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. (fig. 61)

El conjunto va montado sobre un trípode, sujeto al mismo mediante un tornillo apropiado, pudiendo girar alrededor del eje de rotación v-v.

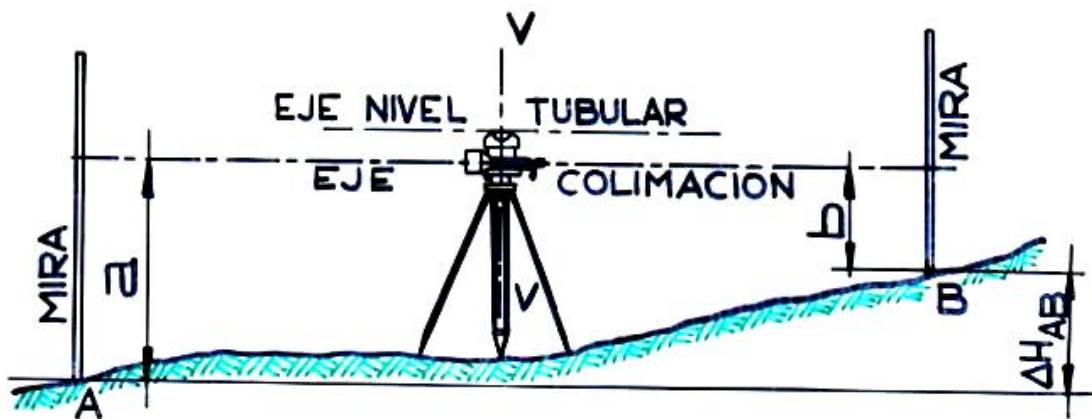


Fig. 61

Supongamos querer determinar el desnivel (ΔH) entre dos puntos A y B en los que se han apoyado verticalmente sendas miras.

Se observa en la figura, que ΔH resulta de la diferencia de lecturas ($a - b$) realizadas sobre las respectivas escalas en sus intersecciones con cualquier plano horizontal, y que efectuando dicha diferencia en el sentido indicado, el signo de la misma coincide con el del desnivel para pasar de la cota de A a la cota de B (ΔH_{AB}).

$$\text{Cota A} + \Delta H = \text{Cota B}$$

Suponiendo que se produjera una rotación del anteojo del equialtímetro en torno del eje v-v y que en todo momento la burbuja del nivel tubular permaneciera centrada, el eje de colimación generaría un plano horizontal.

En esas condiciones, al bisectar sucesivamente las miras ubicadas en A y en B se obtendrían las lecturas a y b.

$$\Delta H = \text{Lect}_a - \text{Lect}_b$$

- En la práctica se coloca el instrumento equidistante de las miras y se procede como sigue: (fig. 61 y 62)

Se verticaliza aproximadamente el eje v-v mediante el nivel esférico. Luego se busca - observando por encima del anteojo- 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, o sea que se enfoca el retículo con el ocular y luego se enfoca en el plano del retículo la imagen del objetivo.

Ello se logra mediante la lente móvil de enfoque que es desplazada por el accionamiento del tornillo correspondiente.

Una vez obtenido el enfoque, se procede a la bisección de la mira, que consiste en centrar la burbuja del nivel tubular mediante el tornillo de Elevación o Basculador.

Dicha burbuja puede observarse cómodamente a través de un visor en el que aparecen las imágenes (convenientemente recortadas por la mitad) de sus dos extremos. En esta forma se observan simultáneamente los mismos, y su separación duplica el apartamiento de la burbuja de su posición centrada.

En el instante en que coinciden ambas imágenes, estará bisectada la mira, y además horizontalizado el eje de colimación (si este es paralelo al eje del nivel tubular). Procedemos ahora a efectuar las lecturas sobre las miras ubicadas en A y B; las diferencias de las mismas nos proporcionan el desnivel verdadero entre dichos puntos.

3. NIVELES DE ANTEOJO

Dos partes principales forman el aparato de nivelación; el nivel propiamente dicho y el trípode sobre el cual se asienta (fijado con tornillo de ajuste) durante las mediciones.

En el aparato propiamente dicho, o sea el nivel óptico o equialtímetro, pueden considerarse 2 partes diferentes en su función, que son: la base y el cuerpo nivel-anteojo (fig. 62).

La base sostiene a todos los instrumentos que forman el nivel y apoya sobre la plataforma del trípode por sus tornillos calantes o una rótula esférica. La base de tornillos calantes se compone de tres ramas r que lleva, cada una, un tornillo calante, de forma que los tres puntos materializados por los tornillos nos forman un plano, el cual se colocará en forma aproximadamente horizontal con ayuda del nivel esférico solidario a la base, esto se denomina calaje grueso. Las ramas r se unen a un cuerpo cilíndrico B hueco, dentro del cual encajará el cuerpo nivel-anteojo, giratorio alrededor del eje vertical v-v, llamado eje de rotación del nivel o eje principal. Al extremo superior, de la columna B, va unido, muchas veces, un círculo Horizontal graduado, que con los

dispositivos de lectura, ya sea un vernier o un microscopio M de estima, llevados por una alidada, forma un goniómetro azimutal.- La espiga Z del cuerpo nivel-anteojo, soporta al anteojo A, al nivel tubular N, y si existe al M mencionado.-

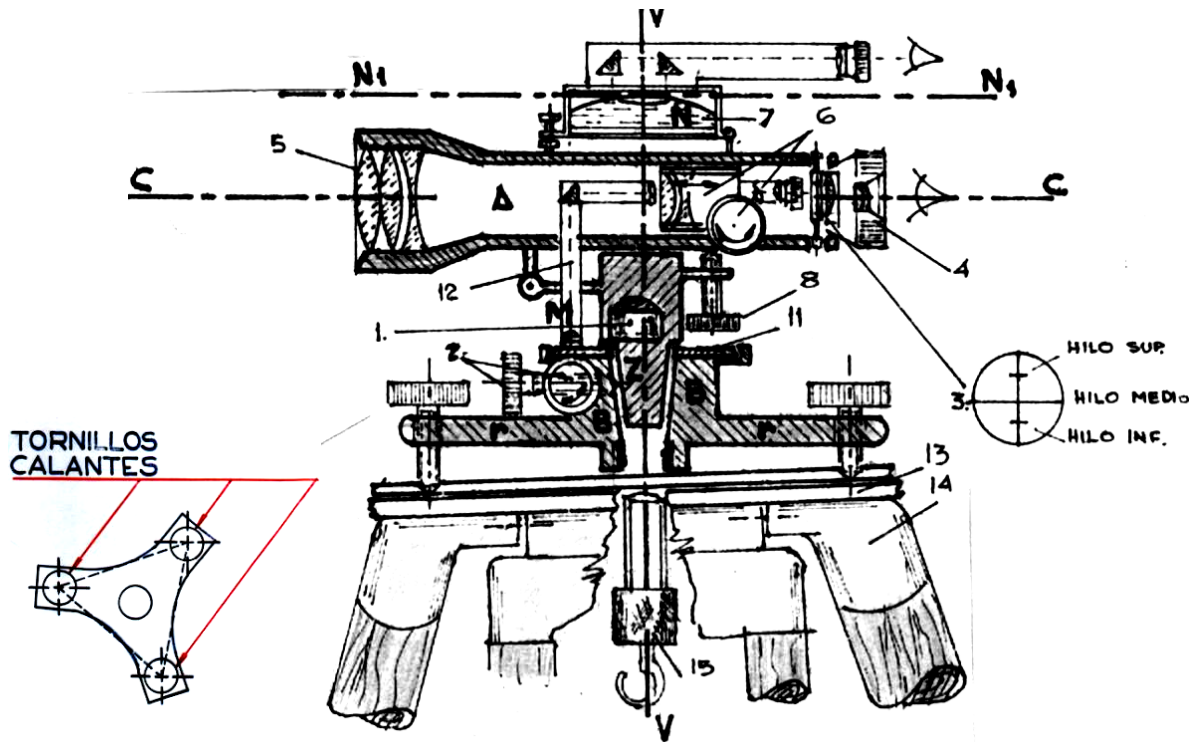


Fig. 62

- | | |
|---|--|
| 1. Nivel Esférico | 8. Tornillos Basculador o de Elevación |
| 2. Tornillos de fijación y de pequeños movimientos. | 9. Lupa p/ observación burbuja |
| 3. Retículo | 10. Tornillos calantes |
| 4. Lente ocular | 11. Círculo Horizontal |
| 5. Lente objetivo | 12. Microscopio de lecturas de ángulos A_z |
| 6. Tornillo y lente movil de enfoque | 13. Plataforma |
| 7. Nivel tubular | 14. Trípode |
| | 15. Tornillo de Fijación |



El anteojo (A) es un tubo metálico que sirve de sostén, y lleva un sistema de lentes en los extremos llamados: Lente Objetiva u Objetivo y Lente Ocular. Generalmente el aumento es de 22x a 28 x aumentos, con una distancia mínima de 90 cm de enfoque.

- Enfoque : Mediante el tornillo de enfoque logramos el enfoque de la imagen nítida del objeto (Mira) en la pantalla del retículo.

En el ocular tenemos una lente (lupa) que aumenta el tamaño del objeto y el procedimiento principal de enfoque es :

- 1) Enfoque del retículo, Fig. 62.1
- 2) Enfoque de la imagen.

- El cruce de los hilos del retículo y el centro de la lente objetiva determinan el Eje de colimación, que en condiciones de trabajo debe ser horizontal. Esto se

logra por medio de un nivel esférico (ya mencionado) y se lo afina con el nivel tubular. Entonces, para lograr que sea horizontal al eje de colimación, se hace una primera aproximación con el nivel esférico por medio de los tornillos calantes (calaje grueso) y se lo afina con el nivel tubular por medio del Tornillo de Elevación o Basculador., De esta manera al visar la mira se reciben de ella los rayos o visuales horizontales. Antes de hacer las lecturas a la mira debemos cotejar si el eje de colimación está en posición horizontal, para ello verificamos si la burbuja del nivel tubular está centrada. Una de las condiciones que debe cumplir el nivel es que el eje de colimación y el eje del nivel tubular sean paralelos. (fig. 62)

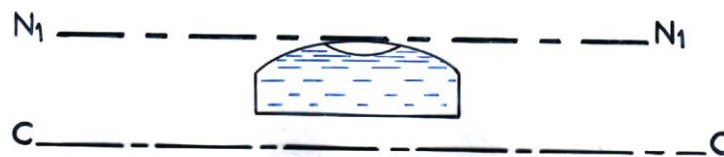
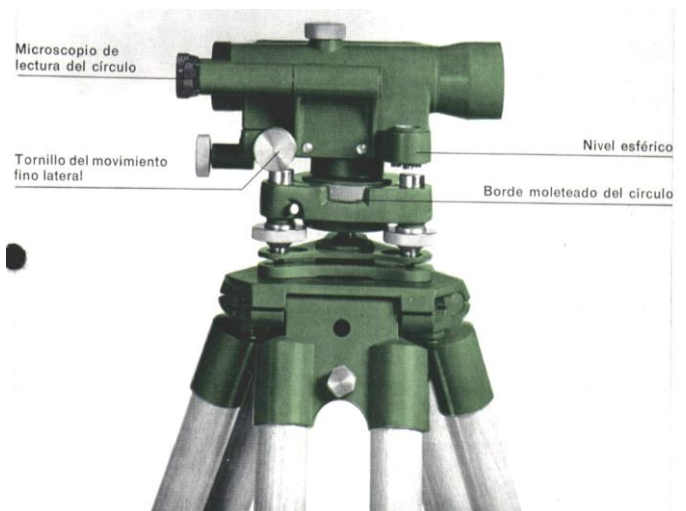
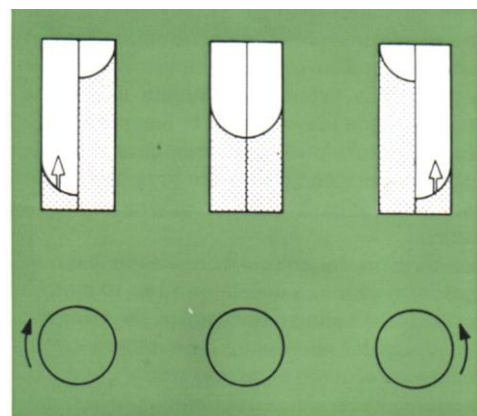


Fig. 62

- La observación del nivel tubular se hace por medio de la Lente o Lupa del nivel del anteojo y se obtiene la siguiente imagen (fig. 63):

Imagen de la burbuja descentrada y centrada y movimientos del tornillo elevador o basculador

Fig. 63



- Condiciones que debe cumplir el nivel para estar en condiciones de trabajo (fig. 64).
 - 1°) Eje del nivel tubular N_1-N_1 perpendicular al eje principal $V-V$ y éste debe coincidir con la vertical del lugar.
 - 2°) Hilo horizontal del retículo perpendicular eje principal $V-V$.
 - 3°) Eje de colimación $C-C$ paralelo al eje del nivel tubular N_1-N_1 .

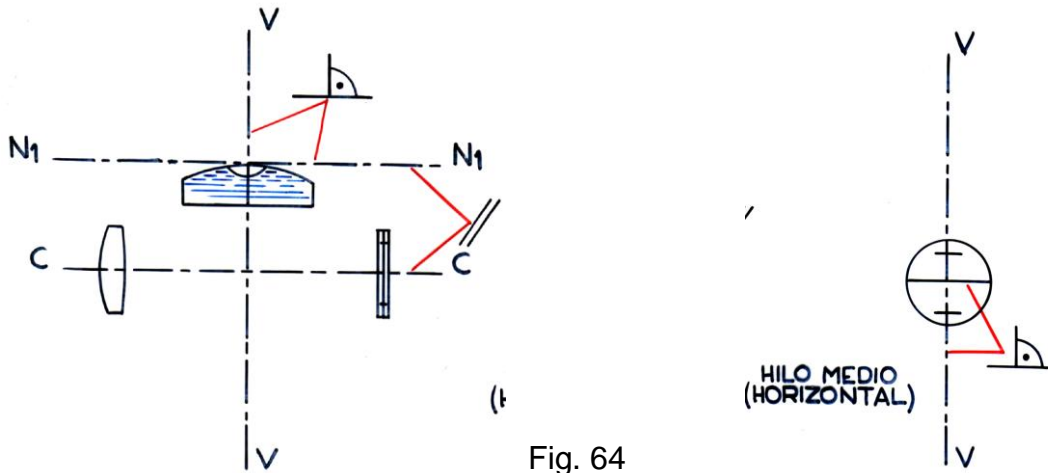


Fig. 64

4. MIRAS PARLANTES

Según el tipo de anteojo, tenga imagen invertida o no, será el tipo de mira. Las alturas de éstas oscilan entre los 3 a 4 metros.

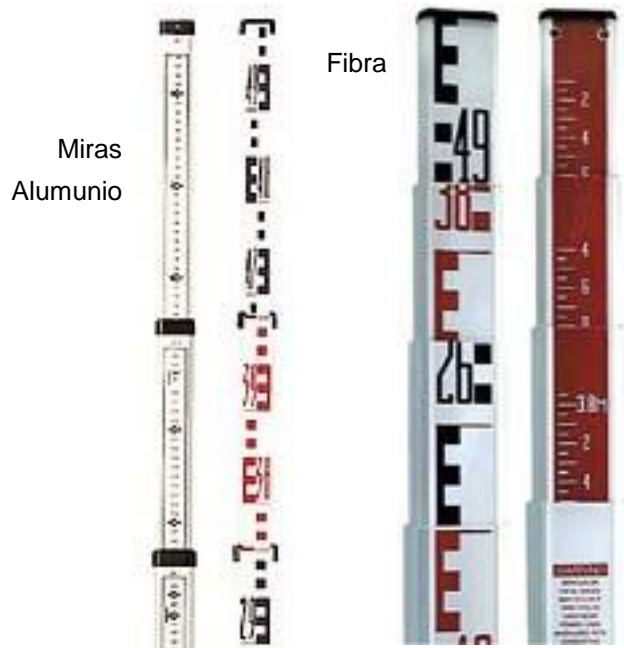
- Mira de Charnela : son aquellas de 4 m., que se doblan en una bisagra en 2 partes de 2 m. cada una. Su ventaja es que las partes graduadas quedan protegidas una con otra para su transporte. Su inconveniente es que plegadas quedan de 2 m., aunque algunas miras tienen 4 bisagras. (fig. 65)
- Mira Telescópica : Son miras de 4 o 5 metros pero consta de 3 a 5 partes cada una y a manera de enchufe una dentro de otra. Su ventaja es que plegada queda más corta que la anterior facilitando su transporte. Su inconveniente es que las partes graduadas quedan al descubierto, debiéndose confeccionar una funda. (fig 66)



Fig. 65



Fig. 66



Graduación (sistema alemán)

La menor graduación de la mira es el centímetro, y a los milímetros se los estima; los números están escritos cada 10 cm y los metros están indicados en negro y rojo alternadamente e individualizados con números romanos. (fig. 67)

Sistema de lectura : Si la visual, es decir si el cruce de los hilos del retículo del anteojo, cae dentro de la E (blanca) la lectura es menor que 5 cm y si cae fuera de la E (blanca) es mayor de 5 cm.

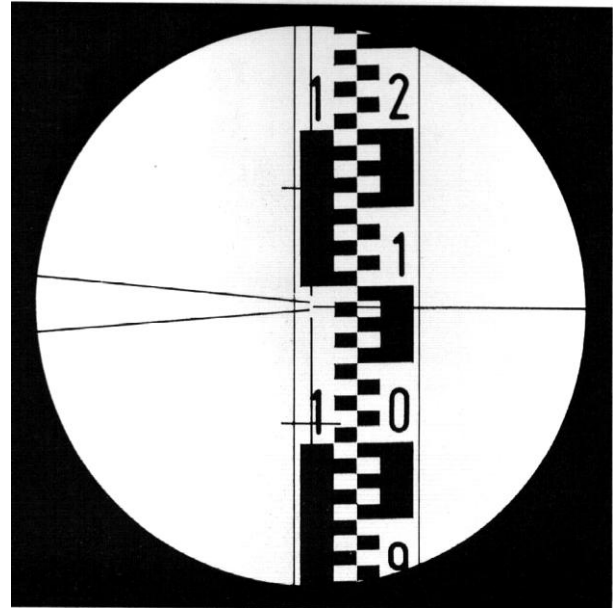


Fig. 67

- La mira debe colocarse perfectamente perpendicular al plano horizontal, es decir vertical, para ello existen 2 procedimientos:
 - a) Se mueve la mira de atrás para adelante con respecto al nivel óptico y el observador debe leer la mínima lectura; pero este procedimiento es engorroso y lento (fig. 68).
 - b) Se le puede adosar a la mira un nivel esférico, por medio de unos tornillos-enchufe. (fig.69).

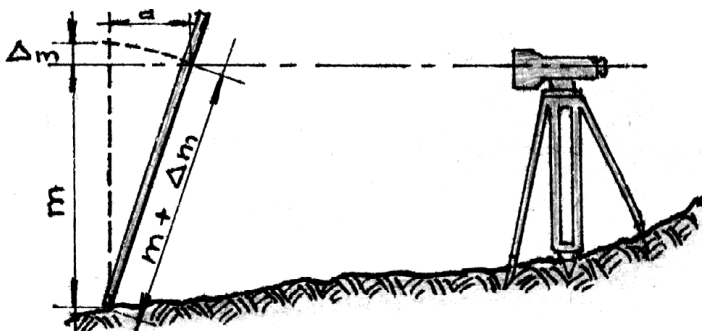


Fig. 68

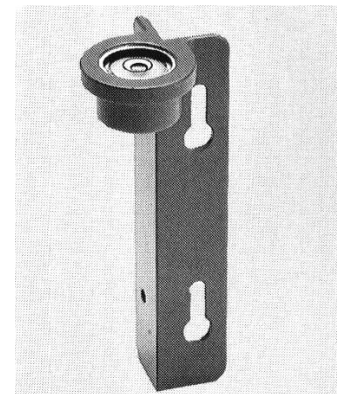


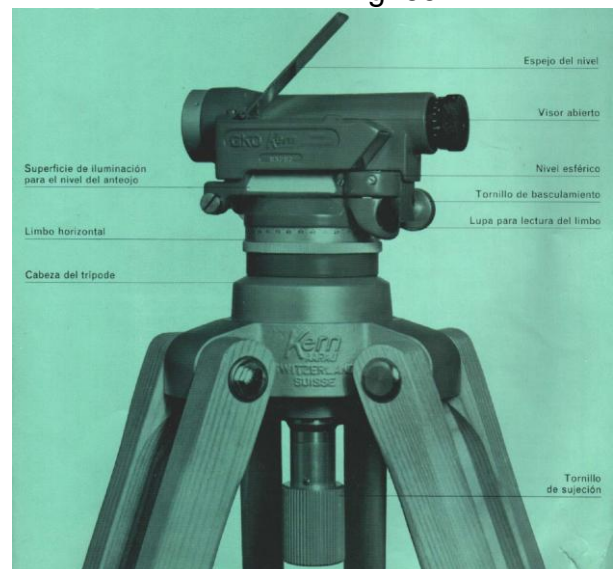
Fig. 69

NIVELES ÓPTICOS PARA OBRA

- Fig. 62.1 Marca Wild Modelo N10, 20x aumentos, círculo horizontal de 360° 0 400^g, sensibilidad del nivel anteojo 60" p.c. 2mm, error medio 1 km de nivelación doble $\pm 2,5$ mm

- Marca Kern Modelo GK0-C (fig.70), 18x aumentos, círculo horizontal de 360°, sensibilidad del nivel anteojo 40" p.c. 2mm, error medio 1 km de nivelación doble ± 7 mm

Fig. 70



- Marca Kern Modelo GK1-C (fig.71), sistema de rótula, sin tornillos calantes (22,5x aumentos, círculo horizontal de 360°, sensibilidad del nivel antejo 40" p.c. 2mm, error medio 1 km de nivelación doble \pm de 2,5 a 4 mm)

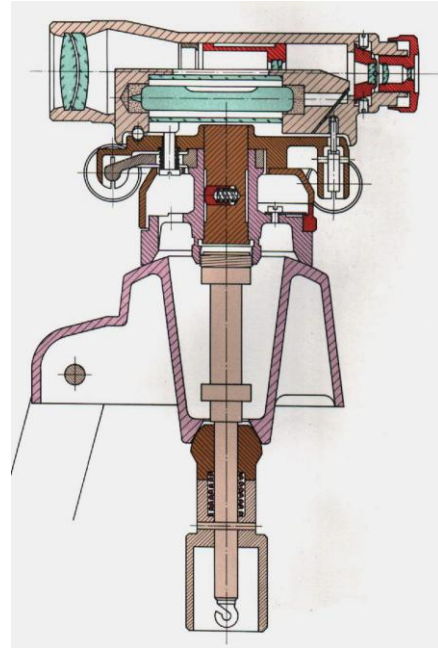
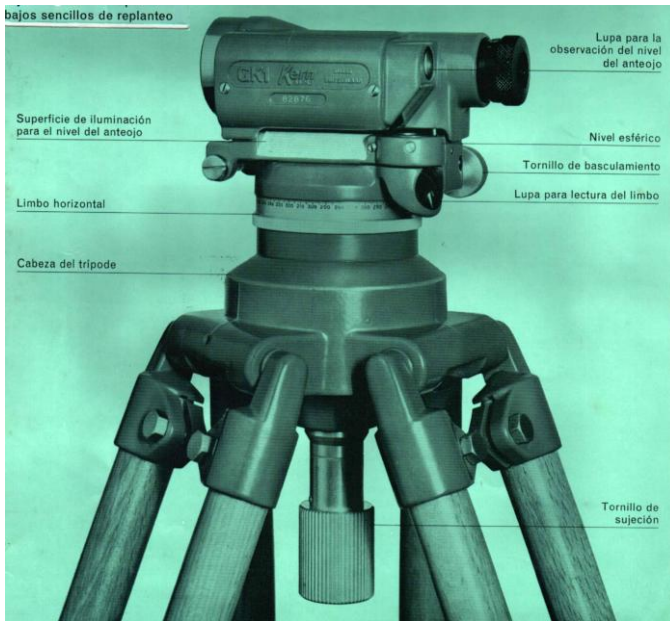
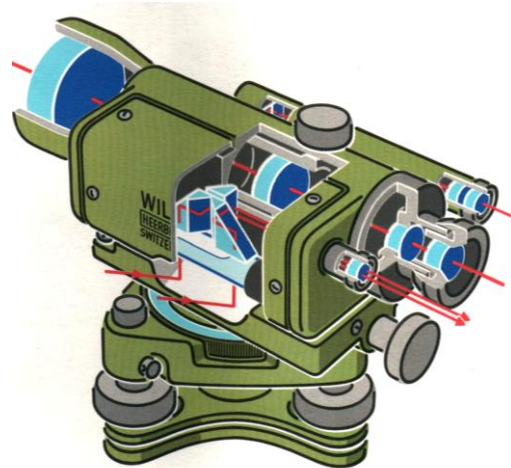
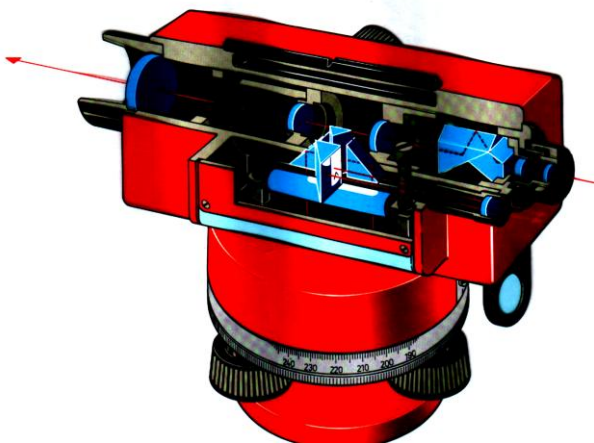


Fig. 71

- Wild NK1 Fig. 72



- Wild N2. (fig.73), 20x aumentos, círculo horizontal de 360°, sensibilidad del nivel antejo 30" p.c. 2mm, error medio 1 km de nivelación doble \pm de 2,5 mm

- Wild N2. (fig.74), (26x aumentos, círculo horizontal de 360°, sensibilidad del nivel antejo 30" p.c. 2mm, error medio 1 km de nivelación doble \pm de 2 mm

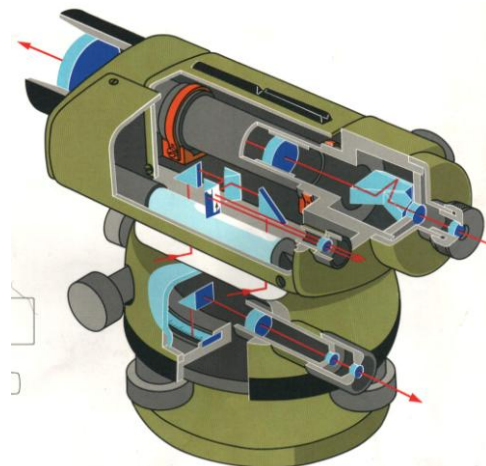
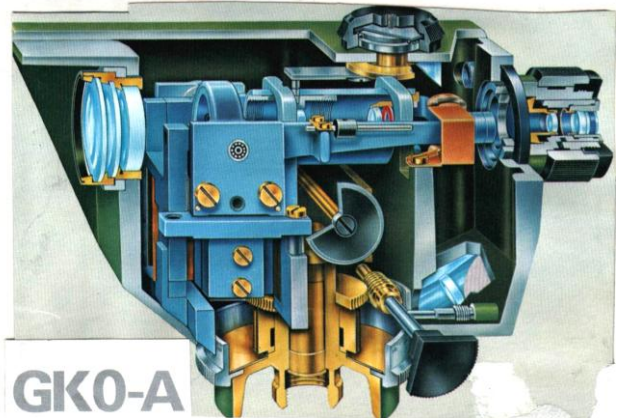
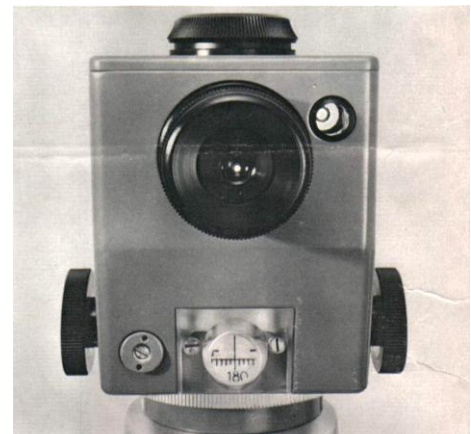


Fig. 74

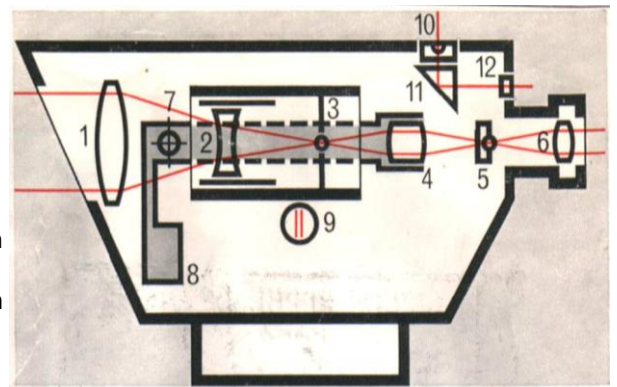
NIVELES AUTOMÁTICOS

Nivel automático para obras, para responder a severas exigencias. Se emplea un sistema óptico para obtener una línea visual nivelada exactamente, con un compensador asentado en cojinetes a bolillas prácticamente a prueba de golpes y sacudidas. Este sistema reemplaza el sensible nivel de burbuja que se usa para este objeto en los niveles convencionales.

- Marca Kern Modelo GK0-A (21x aumentos, círculo horizontal de 360°, desviación standard 1 km: ± 5 mm, rango compensador $\pm 30'$) Diafragma automático de alarma visible en el campo visual del anteojo para indicar los límites del rango del compensador (fig. 75)



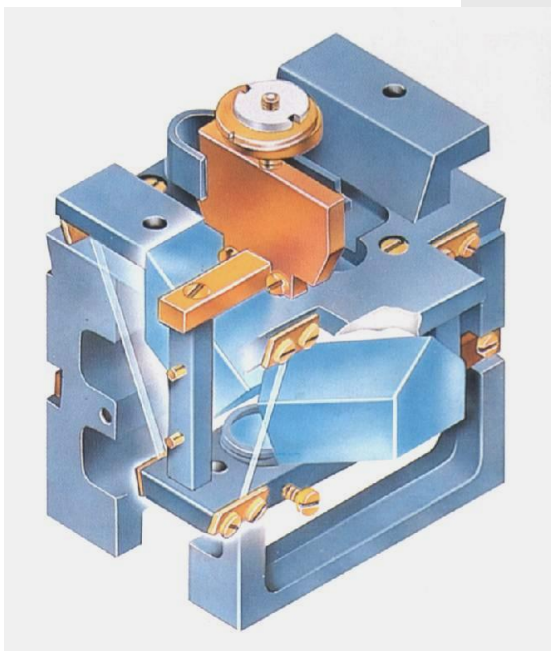
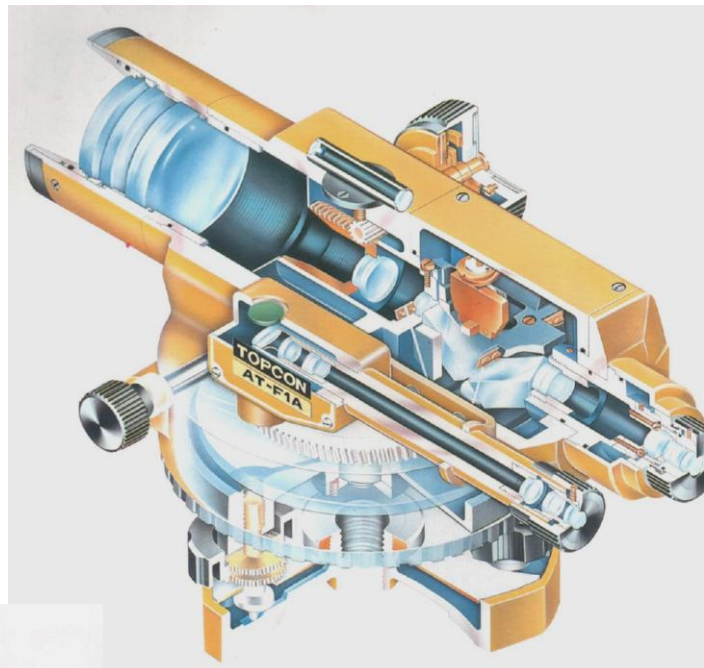
- 1 Objetivo
- 2 Lente de enfoque
- 3 Diafragma de alarma
- 4 Lente de inversión y elemento compensador
- 5 Retículo
- 6 Ocular
- 7 Eje de péndulo compensador asentado en cojinetes a bolillas
- 8 Contrapeso del compensador a amortiguación magnética
- 9 Visor transversal con retículo de doble trazo
- 10 Nivel esférico
- 11 Prisma deflector p/observac. Del nivel esférico
- 12 Ocular p/obsrvac. Del nivel esférico



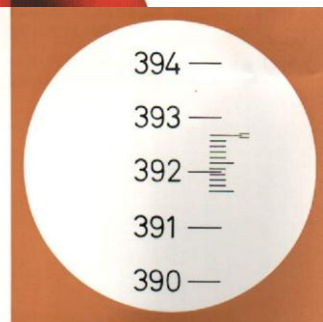
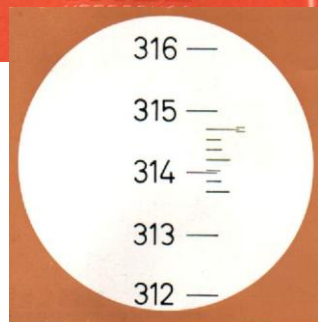
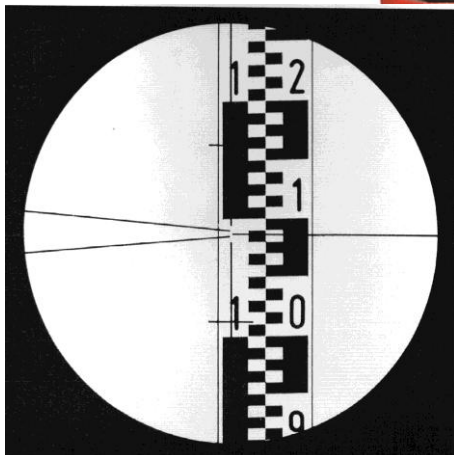
- Nivel Automático Marca Nikon Modelo AX-1 (18x aumentos, círculo horizontal de 360° o 400 gon, desviación standard 1 km: ± 5 mm, rango compensador $\pm 12'$), (fig. 76)



- Nivel Automático Marca Topcon Modelo AT-F1A (25x aumentos, círculo horizontal de 360° o 400 gon, desviación standard 1 km: ± 1 mm, rango compensador $\pm 12'$) (fig. 77)



- Nivel Automático Universal Marca Wild (hoy Leica) Modelo NAK 2 (32x aumentos para nivelaciones de precisión 40x, círculo horizontal de 360° o 400 gon, error medio para 1 km de nivelación doble $\pm 0,7$ mm y con micrómetro de placa plano paralela $\pm 0,3$ mm, rango compensador $\pm 15'$. Fig. 78



Esquema de funcionamiento del compensador NA2/NAK2

- 1 Cintas de suspensión
- 2 Prisma tejado
- 3 Armazón
- 4 Cuerpo del péndulo con prisma
- 5 Línea de puntería
- 6 Pulsador para el control del funcionamiento
- 7 Resorte
- 8 Cilindro para amortiguar

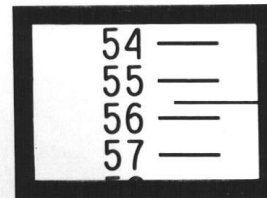
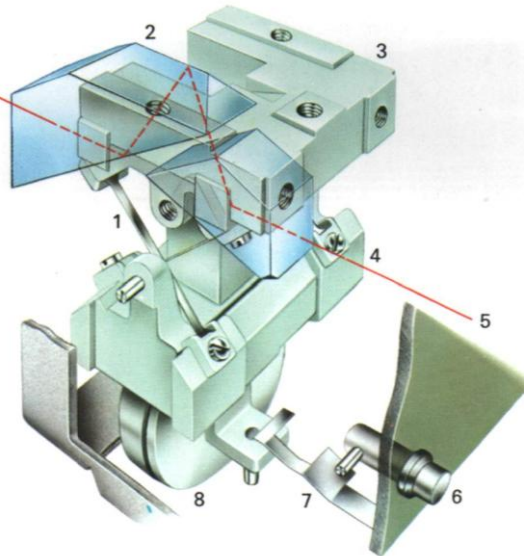
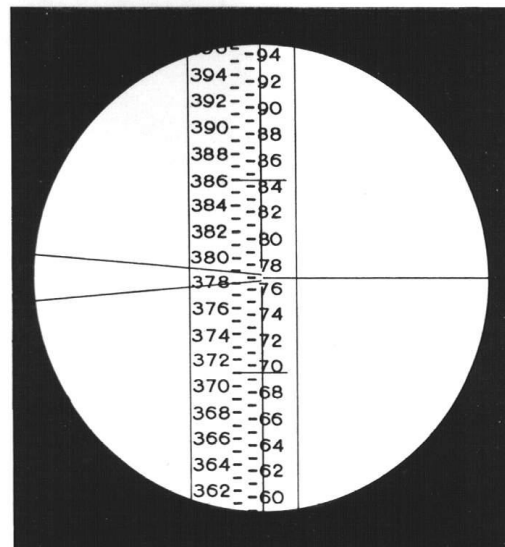


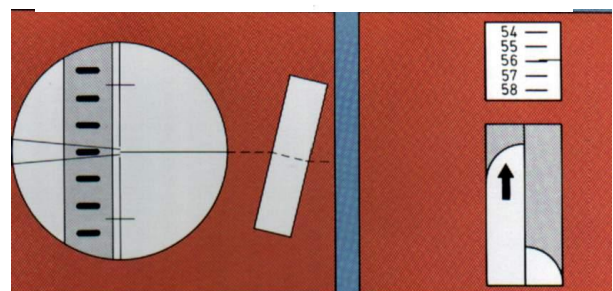
Fig. 79

NIVELES DE PRECISIÓN

Se utilizan para nivelaciones de primer y segundo orden en trabajos geodésicos. También se los utiliza en montajes mecánicos de medianas y grandes maquinarias, así como para medir asentamientos de presas de embalses, edificios, túneles, etc. Vienen provisto de un **micrómetro óptico** que hace posible la lectura directa de 0,1 milímetro y la estimación de 0,01 milímetro, reemplazando las estimaciones de las fracciones de los intervalos de las miras. Se utiliza una mira parlante de material invar -con bajísimo coeficiente de dilatación, lográndose en nivelaciones de ida y vuelta, un error medio del orden de $\pm 0,2$ mm a un 1 km de distancia. El micrómetro óptico consiste en una placa de cristal planoparalela (fig. 80) y está puesta delante del objetivo del anteojo. Inclinando esta placa se desvía paralelamente y por un valor muy pequeño la dirección de la visual, lo que permite medir una fracción de intervalo en la mira. El valor del desplazamiento se lee sobre una escala de vidrio conectada con la placa planoparalela.



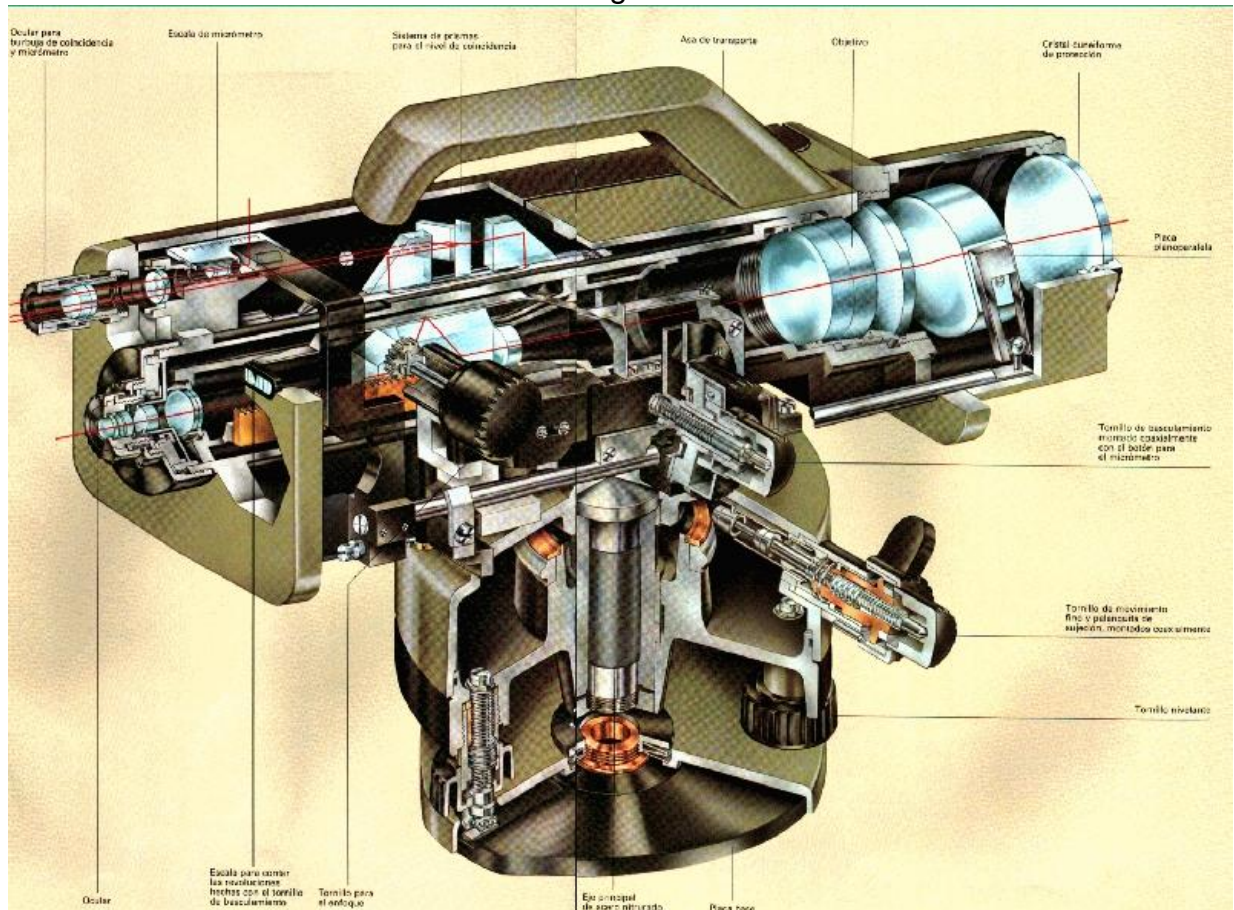
Campo visual del NA 2 con mira invar. Lectura con los trazos cuneiforme puesta en 77 cm, con el micrómetro de placa-planoparalela GPM 3.
Arriba: lectura en el ocular 0,556 cm;
lectura completa: 77,556 cm.



El alcance máximo del desplazamiento corresponde exactamente a un intervalo de la mira (10 mm); de este modo y cualquiera sea la posición de la visual, se puede obtener una lectura micrométrica pero sin que sea posible leer un trazo de la escala equivocado. La operación de la lectura resulta sencilla, dado que centrado la burbuja, o si es automático con el eje de colimación en posición horizontal, en vez de buscar estimar la fracción de intervalo, se manipula el tornillo del micrómetro hasta que el trazo cuneiforme -en forma de cuña- del retículo, (fig.79) coincida con un trazo divisorio de la escala de la mira. A través de la escala de cristal graduada se podrá leer lo que indica el micrómetro. La precisión es independiente de la distancia y mucho mayor que el que se obtiene bisectando el trazo de la mira por un solo hilo horizontal. Los trazos cuneiformes permiten un encuadramiento muy exacto del trazo centimétrico en la mira invar. Las miras de nivelación de precisión suelen ser de hasta 3 m de longitud y subdividida en centímetros. La cinta de invar que lleva la escala no presenta prácticamente ninguna dilatación térmica y está suspendida de modo que queden sin influencia las variaciones de longitud del marco de madera. El coeficiente de dilatación es de $1\mu\text{m}$ por metro y 1°C). Para las mediciones de aplicaciones industriales, las miras especiales son de 0,90 o de 1,80 metros de longitud

- Nivel de Precisión Marca Wild N 3 (46x aumentos, círculo horizontal de 360° o 400 gon, error medio para 1 km de nivelación doble $\pm 0,2$ mm con micrómetro de placa plano paralela, sensibilidad del nivel tubular $10''/2\text{mm}$. (fig. 81)

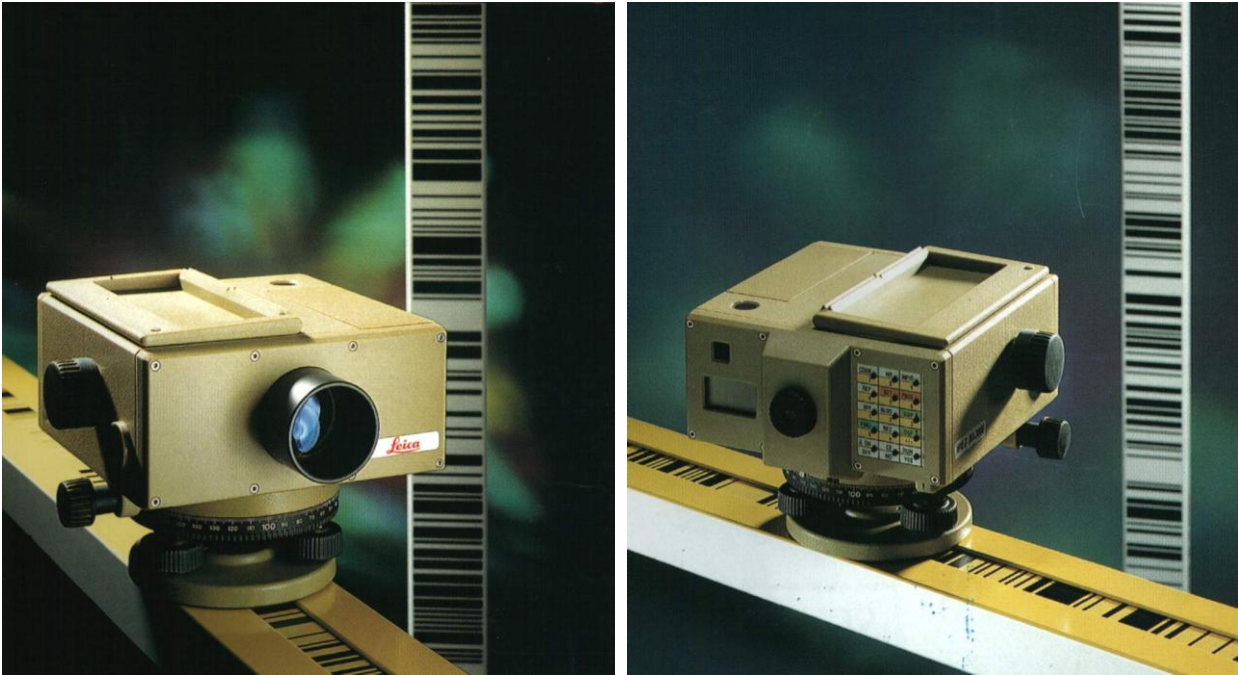
Fig. 81



NIVELES AUTOMÁTICOS ELECTRÓNICOS

Provistos con un proceso electrónico de imágenes digitales y registro automático de datos con medición electrónica y cálculo de altitudes automáticamente (fig. 82), diversos programas de medición y transferencia directa de las mediciones a un ordenador personal (PC) para el procesamiento. Las miras son del tipo de código de barras, tal que el operador dirige la visual, enfoca y aprieta la tecla de medición. Quedan registrado en un módulo (REC) la lectura de mira, la distancia horizontal y la altitud del punto, dando los resultados en forma digital en una pantalla.

Fig. 82



- Niveles electrónicos Marca Wild NA 2002 y NA 3000 con mira de nivel de código invar. GPCL3 y GPCL2 (error medio para 1 km de nivelación doble: medición electrónica de 0,4 a 2 mm y óptica 2 mm; distancia electrónica de 1cm a 5 cm, 24x aumentos, círculo horizontal de 360° o 400 gon, compensador a péndulo . (fig. 82)

NIVELES AUTOMÁTICOS CON LÁSER

El nivel-láser genera un plano de referencia emitiendo el rayo con un prisma pentagonal rotativo y usando un detector, se toman las medidas sobre una mira, operando una sola persona (fig. 83). Vienen provisto de gas neutro, sellados y completamente impermeables en una robusta cubierta metálica preparada para sacudidas y golpes siendo ideales para la obra. Pueden generar planos horizontales y verticales. Tienen un péndulo compensador irrompible. Su alimentación es con baterías intercambiables y recargables del tipo NiCd.

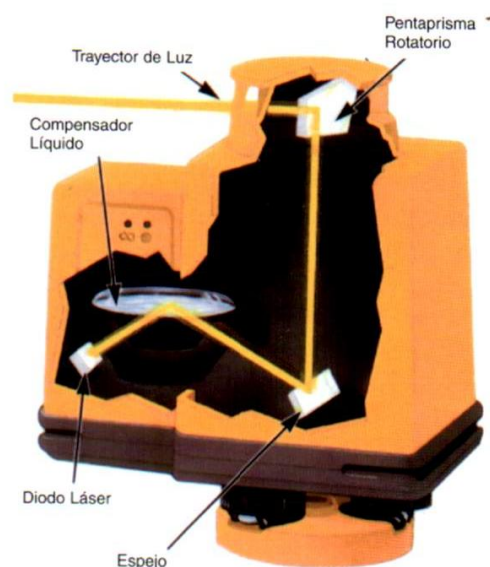


Fig. 83

Centrando la burbuja del nivel esférico con los tornillos calantes, conectando el prisma rotativo, el péndulo nivela automáticamente el plano-láser de referencia y se emiten los destellos. El detector es el elemento que toma la lectura en la mira, pudiendo además marcar señales en los muros, alinear, etc. Éstos vienen provistos de uno o dos visualizadores de cristal líquido. Cuando recibe el rayo emite diferentes tonos tales que indican subir, bajar o que está a nivel. Cuando se trabaja en grandes altitudes con diferencias de nivel importantes, por ejemplo en excavaciones, se utiliza un sensor remoto. El radio de trabajo es hasta los 150 metros.

Volteando la parte superior el barreador láser genera un plano vertical preciso alineándolo con un tornillo de movimiento fino.

- Nivel Láser Automático Marca Wild modelo LNA2. (fig. 84)

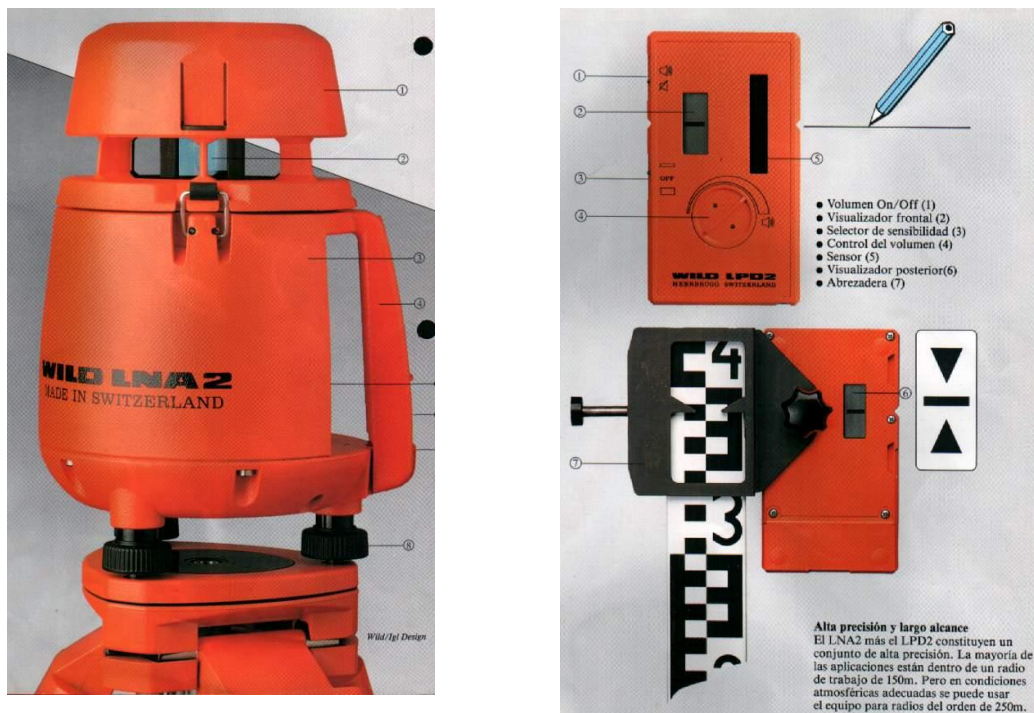
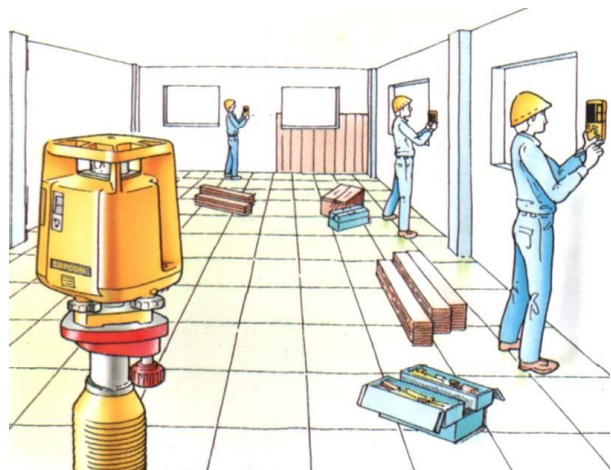
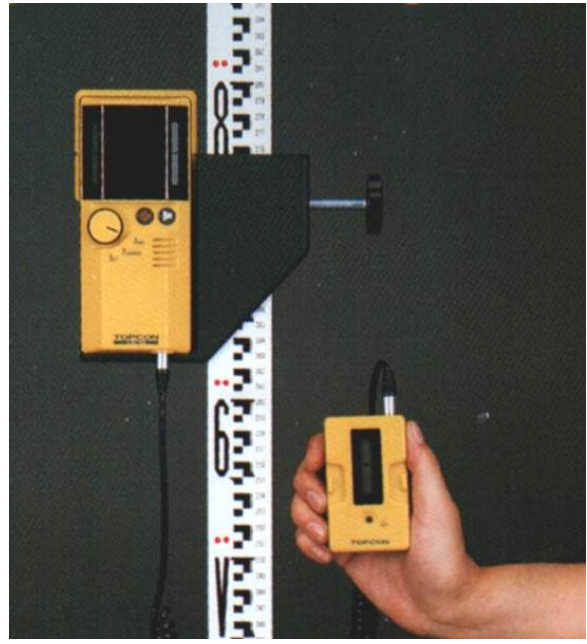
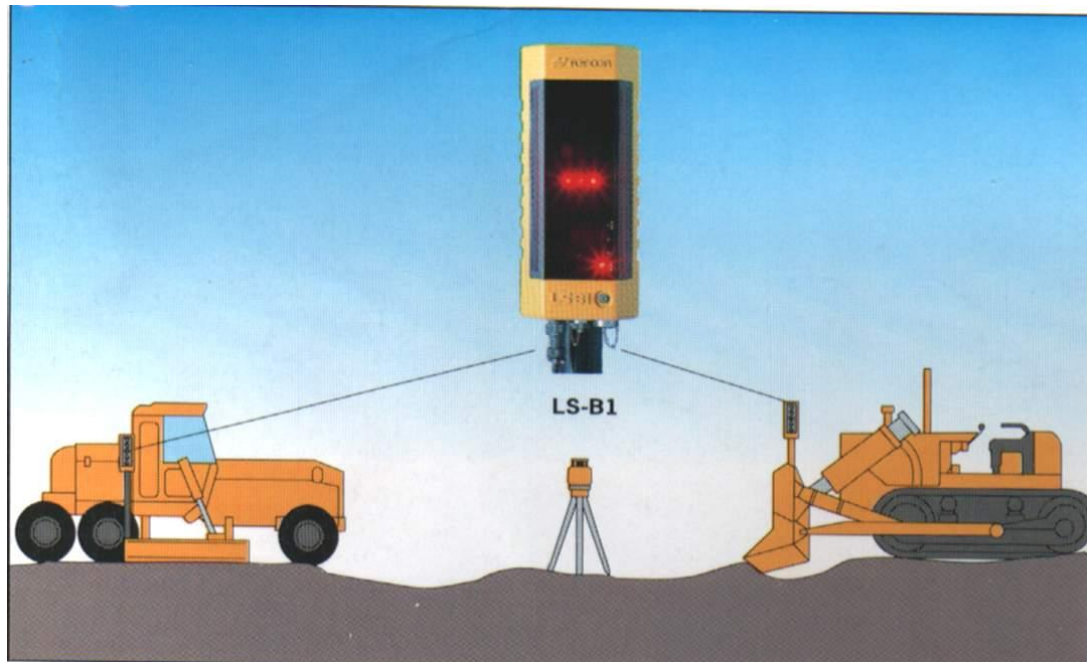


Fig. 84

- Nivel Láser Automático Marca Topcon modelo Marksman RL-50 y RL-10 (fig. 85)







5. DETERMINACION DE LA SENSIBILIDAD DEL NIVEL Y CALCULO DEL RADIO DE CURVATURA DE CURVATURA

Tanto las operaciones lineales como las angulares, deben realizarse sobre un plano y si el terreno presenta pendientes o ángulos inclinados, los mismos deben ser reducidos al horizonte.

Para ello se usa en las operaciones regulares el "nivel", que consta de un tubo de vidrio de superficie tórica, lleno de alcohol, éter u otro líquido volátil, cerrado y dejando un pequeño espacio vacío, que recibe el nombre de burbuja, en el que en realidad, hay restos de aire mezclados con vapores del líquido que llena el tubo.

Este aparato tiene por objeto dar direcciones horizontales o verticales, por medio de la superficie libre del líquido mencionado, en situación de reposo.

Dos clases de niveles conocemos en Topografía: nivel tubular y nivel esférico. Nos referiremos en este caso al tubular.

La burbuja ocupa siempre la parte más alta del tubo. Este lleva por fuera una graduación en líneas de Paris, equivalentes a 2,26 mm cada una, usándose en la actualidad graduaciones de 2 mm. Esta graduación no está grabada en la parte central del tubo, siendo ésta orientadora para colocar a la burbuja en forma simétrica respecto al punto medio de aquella; la parte superior de la burbuja se la llama "centro de la burbuja" y "eje del nivel" a la tangente en el punto normal paralela a la dirección del tubo.

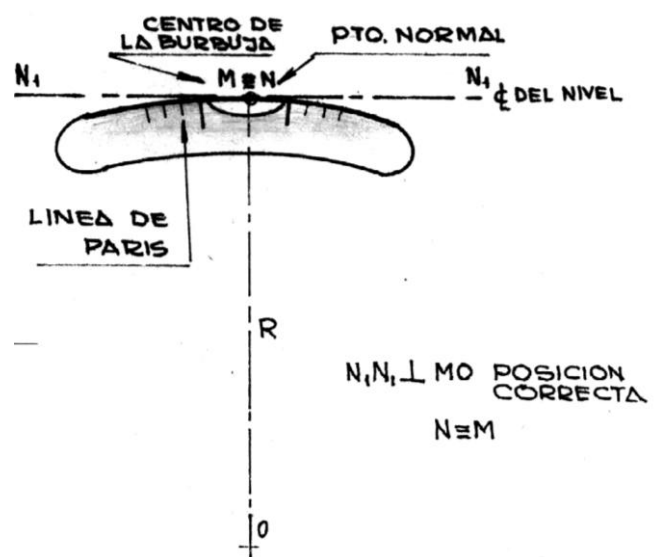


Fig. 87

Se dice que un nivel está "calado", cuando la tangente o eje es horizontal y el punto medio de la burbuja coincide con el punto normal.(fig. 87).

Si el eje del nivel no es horizontal, el centro de la burbuja queda desplazado y a cierta distancia del punto normal, llamándose a ésta "desviación de la burbuja", que se mide por las graduaciones ó divisiones del tubo.(fig. 88).

Llamaremos a al desplazamiento de la burbuja, estando dada la inclinación del nivel por el ángulo al centro α . Fig. 88

SENSIBILIDAD de un nivel, será el ángulo para que se produzca el corrimiento de la burbuja en una división entera a .

La ecuación fundamental es $\alpha'' = (a/R) \cdot \rho''$ (1)

El desplazamiento de la burbuja es proporcional al radio del nivel tubular. (Propiedad fundamental). Cuanto mayor es el radio del nivel, tanto mayor es el camino recorrido por la burbuja, para una misma inclinación.

De la (1) podemos escribir :

$$\alpha''/a = \rho''/R \quad \therefore R = (a \cdot \rho'') / \alpha''$$

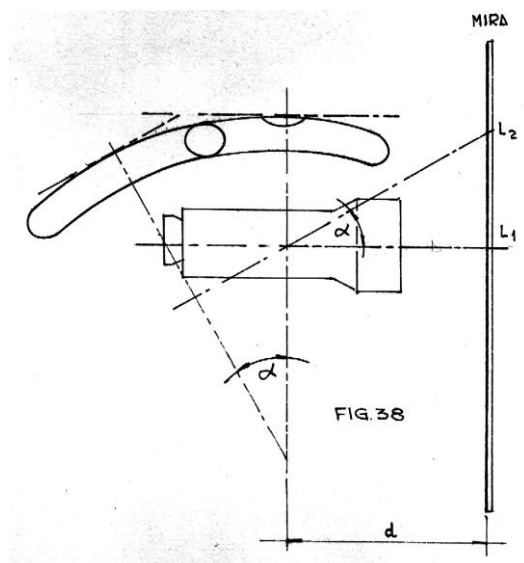
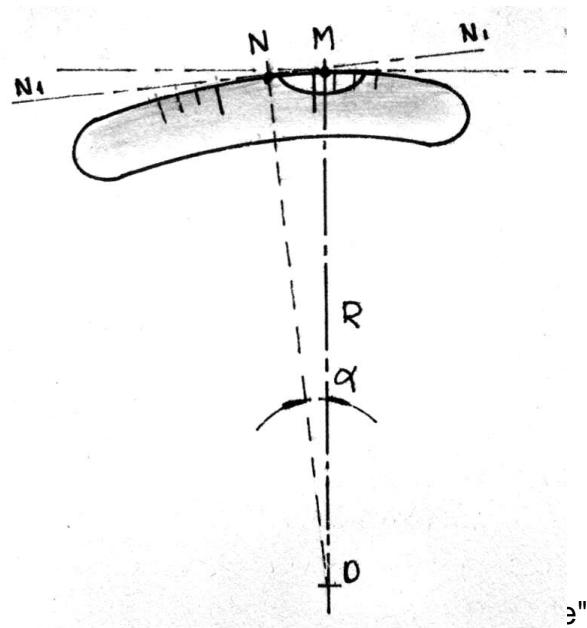
Donde : α'' está dado en segundos de arco.

a y R en metros.

$\rho'' = 206.265$ ("aproximadamente puede tomarse 200.000").

La determinación de la sensibilidad de los niveles, puede hacerse de dos formas: en el laboratorio por medio de probetas especiales y directamente con niveles montados sobre sus respectivos instrumentos, niveles de anteojo o teodolitos.

Determinación práctica: Se coloca en estación el instrumento, y a una distancia, que puede ser de 25 m, una mira centimetrada, vertical. Centrada la burbuja prolijamente, se efectúa una lectura L_1 sobre la mira con el hilo horizontal medio del retículo. A continuación se descorrige el centrado de la burbuja con los tornillos calantes, tomándose como referencia uno de los bordes de la burbuja, efectuando una segunda lectura L_2 sobre la mira. Conviene para mayor seguridad y precisión en las observaciones y cálculos, desplazar la burbuja 4 a 5 divisiones del nivel. De este modo se ha determinado un ángulo α cuya medida está dada por:



$$n \alpha = L_2 - L_1 / d$$

La diferencia $L_2 - L_1$ expresa la medida lineal sobre la mira del ángulo $n\alpha$ a la distancia d .

$$\alpha = 1/n \cdot (L_2 - L_1)/d \quad (\text{en radianes})$$

$$\alpha'' = 1/n \cdot (L_2 - L_1) \cdot \rho''/d \quad (\text{en segundos})$$

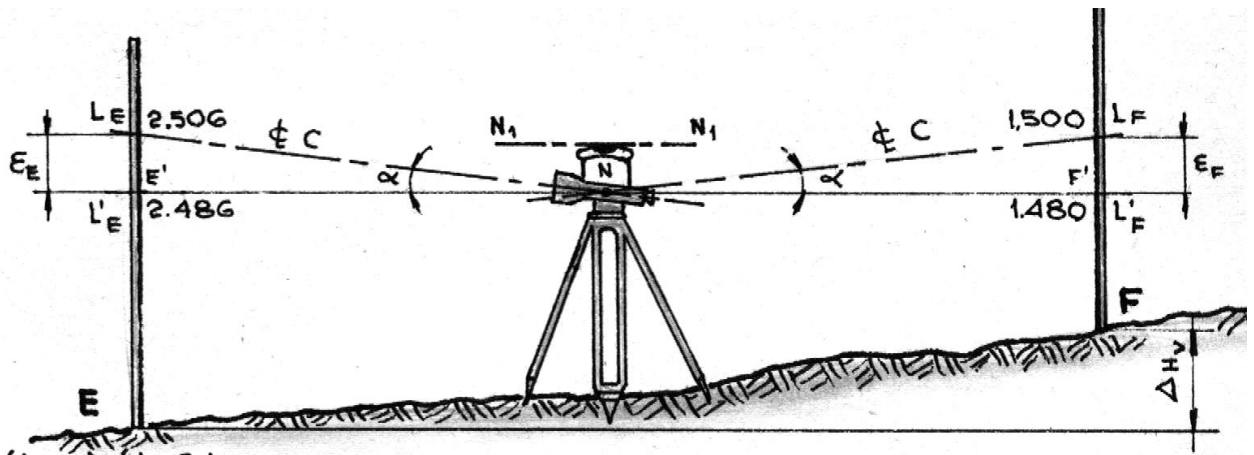
6 ERRORES SISTEMATICOS

6.1.- ERROR DE COLIMACION

Es la falta de paralelismo entre el eje de colimación del anteojo y el eje del nivel tubular. (En lo que sigue trataremos esta falta de paralelismo, solamente en su proyección sobre un plano vertical).

Puede constatarse su existencia de la siguiente manera :

6.1.1. Nivelación desde el medio: Se coloca el instrumento equidistante de ambas miras (no es necesario que esté alineado con ellas), y se efectúan lecturas L_E y L_F , centrando previamente la burbuja. E y F a 50 mts y medidos con cinta.



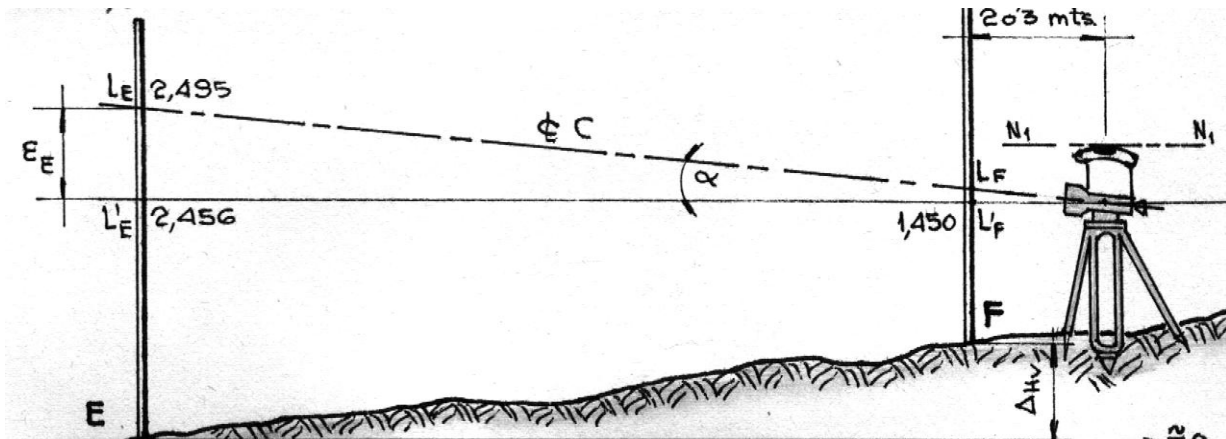
$$\Delta_H = L_E - L_F = (L'_E + \varepsilon_E) - (L'_F + \varepsilon_F) = L'_E + \text{tg}\alpha \cdot NE' - L'_F - \text{tg}\alpha \cdot NE' \therefore \underline{\Delta_H = L'_E - L'_F}$$

Ej.:

$L_E = 2,506$	$L'_E = 2,486$
$L_F = 1,500$	$L'_F = 1,500$
$\Delta_{Hv} = +1,006$	$= +1,006$

Obsérvese que, aunque haya error de colimación el desnivel hallado es verdadero. Puesto que la equidistancia entre instrumento y miras, hace que dicho error sistemático de colimación incida con igual signo y magnitud en ambas lecturas, y por lo tanto al efectuar la diferencia de las mismas queda anulada su influencia.

6.1.2. Nivelación desde un extremo: Se traslada el instrumento a un extremo colocándolo a 2 ó 3 metros de F, y se vuelve a leer en ambas miras (siempre teniendo la precaución de verificar la centración de la burbuja inmediatamente antes de cada lectura).



$$\Delta_{H'} = L_E - L_F = (L'_E + \varepsilon_E) - (L'_F + \varepsilon_F); \varepsilon_F \cong 0; \therefore \Delta_{H'} = L'_E + \varepsilon_E - L_F$$

Ej.:

$$L_E = 2,495$$

$$L'_E = 2,456$$

$$L_F = 1,450$$

$$\Delta_{H'} = +1,045$$

Entonces es: $\Delta_{H'} \neq \Delta_{Hv}$

Existe pues error de colimación.

Corrección: Admitiendo que $L_F = 1,450$ m está exenta de error (dada la pequeñez de la distancia instrumento-mira), se adiciona a ella el valor de Δ_{Hv} para deducir el de la lectura correcta en E.

$$L_F = L'_F = 1,450$$

$$\Delta_{Hv} = +1,006$$

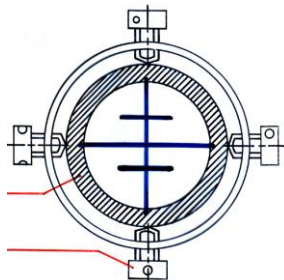
$$L'_{Ev} = +2,456$$

Para efectuar la corrección se dispone de dos métodos:

a) Se produce la lectura 2,456 m en E accionando el tornillo de elevación. En ese instante se ha horizontalizado el eje de colimación. Como la burbuja del nivel tubular (que es solidario al anteojo) se ha desplazado, se restablece su centración mediante sus tornillos propios.



b) Manteniendo la burbuja del nivel tubular centrada se corrige la lectura de E provocando la lectura de 2,456 m desplazando la pantalla de retículo mediante los tornillos de corrección propios.



De aquí en más, la centración de la burbuja nos asegurará la horizontalidad del eje de colimación.

El error que acabamos de tratar es sistemático.

Observese que su incidencia es particularmente importante en el caso del ejemplo 2 (nivelación desde un extremo) siendo nula cuando el instrumento equidista de ambas miras (nivelación desde el medio). De allí que en lo posible debe tenderse a esta última disposición del instrumental en el terreno, para anular la influencia del error residual de colimación.

6.1.3. Otro Método de Corrección del Error de Colimación

Para esto necesitamos un terreno llano de 45 y 60 m de longitud. Se divide en tres segmentos iguales de longitud d . Se ubican dos puntos fijos intermedios B y C. Y otros dos extremos A y D.

Con el instrumento en A -después de centrar el nivel esférico y verificar al compensador y/o nivel tubular- se toman las lecturas a'_1 y a'_2 a las reglas en B y C. Y con el instrumento en D, se toma las lecturas a'_3 (en C) y a'_4 (en B). Si el eje de colimación es completamente horizontal, las lecturas correctas serán respectivamente las lecturas a_1 , a_2 , a_3 , y a_4 , y la relación siguiente será válida, como puede verse de la figura:

$$a_4 - a_1 = a_3 - a_2$$

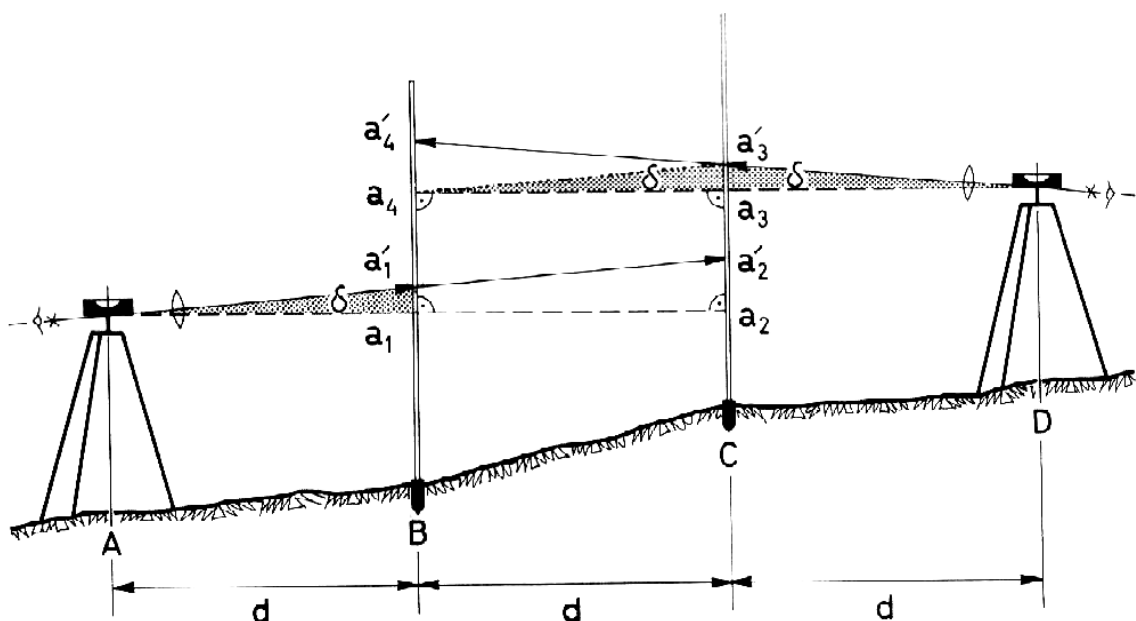
Si esto no sucede, es decir, el eje de colimación no es horizontal, o sea que forma un pequeño ángulo δ con la horizontal. Si proyectamos una línea imaginaria, paralela a $a'_3 - a'_1$, y que pase por a'_3 , cortará a la mira en el punto B en la posición correcta a_4 , dando el valor verdadero observado desde D. Esto se ve realmente en la figura.

$$a_4 - a'_1 = a'_3 - a'_2$$

$$a_4 = a'_1 - a'_2 + a'_3$$

Si la lectura real a'_4 difiere del valor correcto a_4 por más de 2 mm en 30 m, el procedimiento entero debe repetirse. Si la diferencia es confirmada, el eje de colimación debe ajustarse como se describe.

La tolerancia de 2 mm en 30 m es un valor práctico por rutina que nivela con el instrumento, sin embargo puede hacer un ajuste más preciso.



6.2.-FALTA DE VERTICALIDAD DE LAS MIRAS

Constituye otro error sistemático, que adquiere importancia en terreno de fuerte pendiente. Su influencia está dada por la sencilla expresión ya vista en medición directa de distancias. Recordemos que

Según fig: $l^2 = l'^2 + a^2 = (l - \Delta l)^2 + a^2$

Efectuando el cuadrado del binomio, eliminando los términos que se anulan y multiplicando en ambos miembros por $l/\Delta l$, obtenemos que :

$$\Delta l = a^2 / (2l - \Delta l)$$

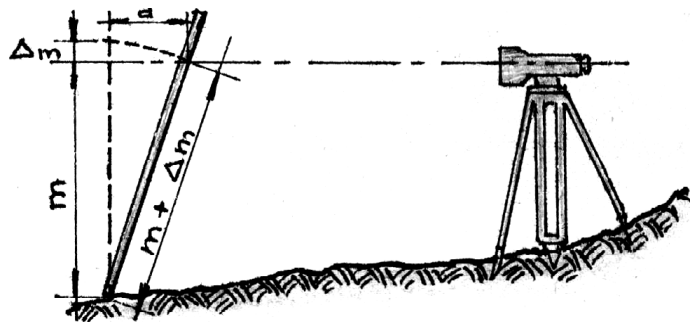
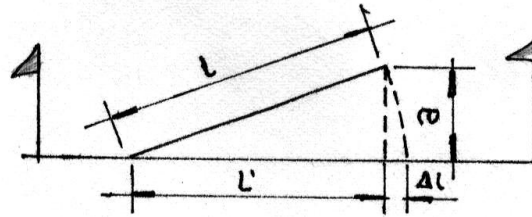
Si en el denominador despreciamos Δl , dada su pequeñez frente a $2l$, nos queda finalmente:

$$E_{al} = \Delta l = a^2 / 2l$$

En nuestro caso será:

$$\Delta m = a^2 / 2m$$

Donde: a = apartamiento del punto de mira bisectado, respecto de la vertical y m = valor de la lectura de mira (altura sobre el suelo).



Ej. $a = 20 \text{ cm}$ y $m = 2 \text{ mts} \rightarrow \Delta m = 1 \text{ cm}$

Cuando se nivela en terreno quebrado es aconsejable adosar niveles esféricos a las miras para lograr su verticalidad. O utilizar la técnica de balancear la mira hacia delante y atrás y tomar la menor lectura.

Existen otros errores sistemáticos que tienen incidencia importante en **nivelaciones geométricas compuestas** de gran longitud, tales como:

6.3.- Hundimiento progresivo de las miras (de allí el uso de "sapos", (fig. 86)

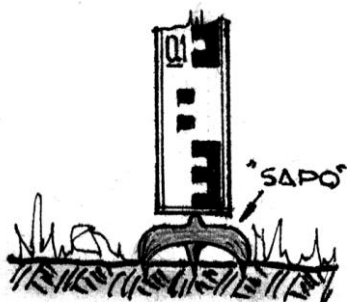
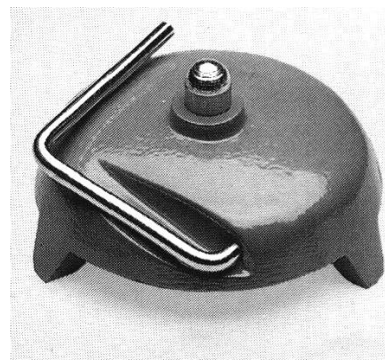
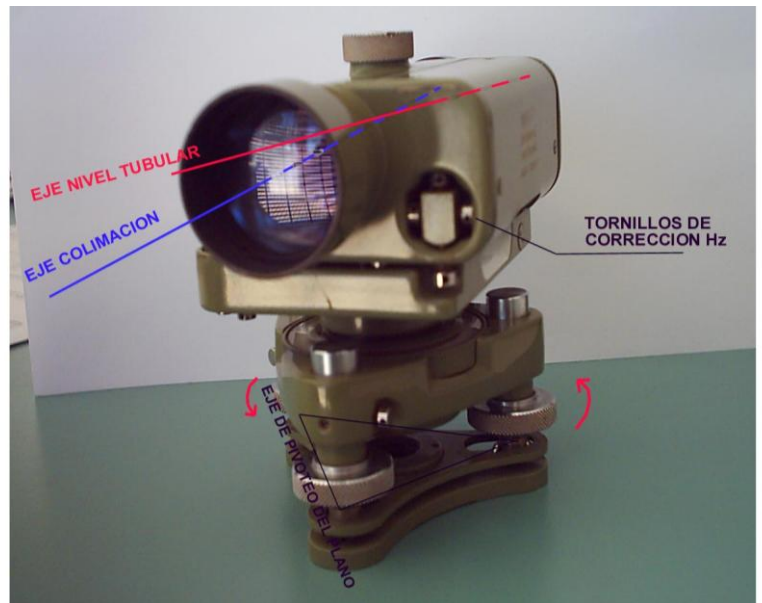


Fig. 86



6.4.- Error de graduación de las miras (sobre todo en terrenos de fuerte pendiente general).

6.5.- Error de cruce: los ejes de colimación y del nivel tubular están alabeados (o sea que los planos verticales que los contienen no son paralelos). Corregido el error de colimación, la horizontalidad del eje de colimación a nivel centrado puede resultar afectada por el error de cruce, que se produce cuando se cruzan las proyecciones sobre un plano horizontal del eje de nivel con el eje de colimación.



Para corregir este error se coloca el nivel antejo en la dirección de un tornillo calante, se centra la burbuja con el tornillo de elevación y se anota la lectura de la mira correspondiente. Luego se gira uno de los tornillos calantes laterales y, sin tocar el tornillo de elevación, mediante el otro tornillo calante lateral, se provoca la misma lectura anterior. Si la burbuja del nivel se descentra, se la centra con los tornillos de corrección que accionan en sentido horizontal.

6.6.- Descorrección del nivel esférico, que se traduce en una mayor incidencia del error de cruce y además produce una variación altimétrica del centro del instrumento (cuando el punto de basculamiento del antejo está fuera del eje de rotación).

6.7.- Falta de paralelismo de las superficie equipotenciales del campo gravífico terrestre.

Los errores mencionados 5, 6 y 7 deben tenerse en cuenta solamente en nivelaciones de precisión

6.8.- Error de Curvatura y Refracción

Teniendo en cuenta la curvatura terrestre la corrección (c) que debe aplicarse a una nivelación será siempre positiva, y su valor se obtiene de:

$$(R + c)^2 = R^2 + a^2$$

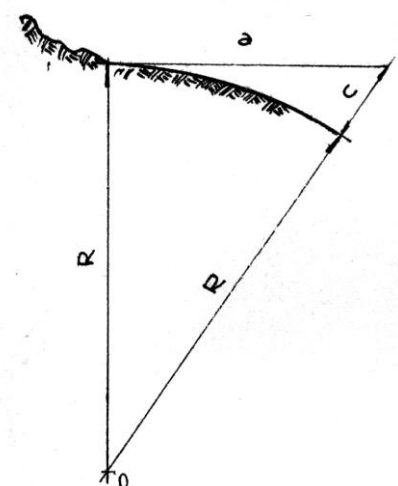
Desarrollando es: $R^2 + 2Rc + c^2 = R^2 + a^2$

Y como c^2 frente al valor del radio terrestre es aproximadamente nulo, resulta:

$$c \cong a^2/2.R$$

Para $R = 6400$ km se llega a la siguiente expresión práctica:

$$c \text{ (cm)} \cong 8 \cdot a^2(\text{km})$$



Debe tenerse también presente que en razón de la influencia de la refracción atmosférica el rayo luminoso sigue una trayectoria curva, que con suficiente aproximación puede asimilarse a un arco de circunferencia de radio R' , siendo:

$$R' = R/K$$

Siendo K el coeficiente de refracción del aire, para el que se adopta como promedio el valor de $K = 0,13$

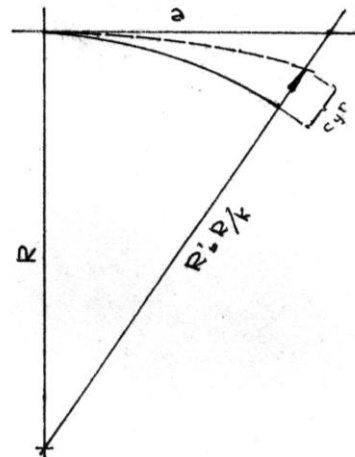
El efecto de la refracción (que es de signo contrario al de curvatura) lo compensa parcialmente, y la expresión de la corrección en definitiva queda:

$$(c \text{ y } r) = (1 - K) \cdot a^2/2.R = 0,87 \cdot a^2/2.R$$

Pero la expresión práctica es :

$$(c \text{ y } r)(\text{cm}) = 7 \cdot a^2$$

De esta expresión se obtienen valores que en Topografía no tienen mayores incidencias, salvo aquellos casos en que se hacen traspasos de cotas de puntos fijos. Por lo que se aconseja que la distancia entre dichos puntos no sea mayor de 50 m.



Por lo tanto en Topografía prescindimos de la curvatura terrestre y la refracción atmosférica y consideramos a la tierra como una superficie plana.

El efecto de curvatura y refracción se anula con la igualdad de distancia del nivel a ambas posiciones de la mira. De lo contrario sería un error de lectura sistemático, siempre leeríamos con error sobre ambas miras sin saber si los incrementos son iguales. Esto puede incidir en el desnivel total como error accidental.

7 ERRORES ACCIDENTALES:

7.1. Error de bisección: (m_b). Ya expresamos que en el instante en que la burbuja del nivel tubular está centrada, se ha logrado la colimación o bisección sobre la mira. De allí que dicho error de bisección depende del error de calaje de la burbuja.

$$m''_c = 0,1 \sqrt{S''} \quad (1)$$

Cuyo valor es función de la sensibilidad (S'') del nivel tubular. La expresión (1) se cumple con mayor rigor en el caso de niveles de coincidencia en los cuales es posible afinar el calado de la burbuja.

En los equialtímetros utilizados en topografía, la sensibilidad del nivel generalmente oscila entre $5''$ y $30''$ según el tipo de instrumento, por lo que según (1):

$$0'',2 < m''_c < 0'',6$$

$$m_b = m_c L \quad (2)$$

L = distancia instrumento-mira

Expresando en mm el error de bisección sobre la mira, y en metros la distancia L , de (1) y (2); queda en definitiva:

$$m_b (\text{mm}) = \sqrt{S''} \cdot L (\text{m}) / 2000 \quad (3) \quad \text{de } \rho'' = 1/200.000$$

7.2. Error de lectura: (m_b). Es proporcional a la distancia L e inversamente proporcional al aumento del anteojo. Su expresión está dada por:

$$m_l = 0,14 \cdot L_{(m)}/A + 0,03 \cdot \Delta_{(mm)}$$

Donde Δ es la menor división de la mira empleada.

Acumulación de ambos errores:

$$m = \sqrt{m_b^2 + m_l^2} \quad (4)$$

Este es el error accidental que se comete en cada nivelada, o sea cada vez que se bisecta la mira y se efectúa la lectura.

Corrientemente el valor del error m dado por la (4) es menor que +/- 1mm. (distancia L de 50 a 60 m)

$$m_b \text{ (mm)} \cong \sqrt{(30'') \cdot 50 \text{ m} / 2000} \cong \pm 0,14 \text{ mm}$$

$$m_l \text{ (mm)} \cong 0,14 \cdot 50 / 25 + 0,03 \cdot 10 = 0,58$$

$$m \text{ (mm)} \cong \sqrt{(0,14^2 + 0,58^2)} \cong 0,6 \text{ mm}$$

Nótese que prácticamente $m = m_l$



Próximo Tema 4 Teodolito >>>>