

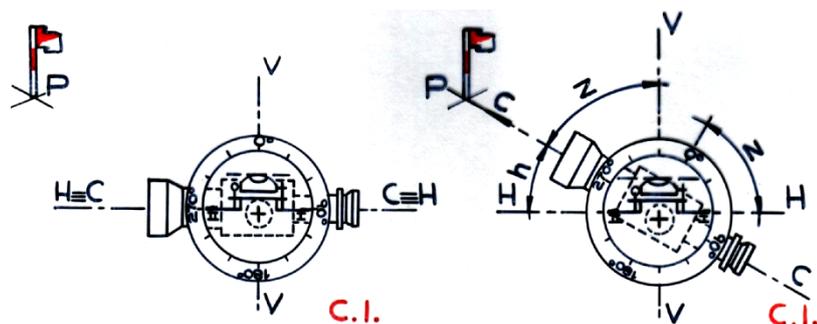
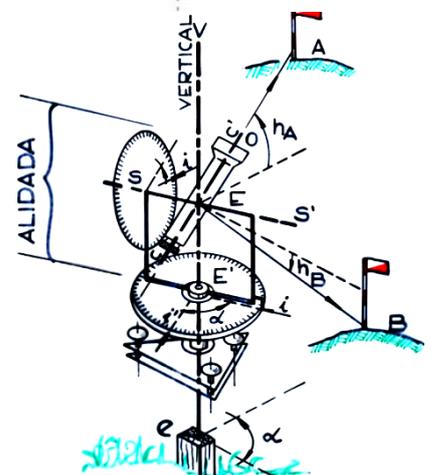
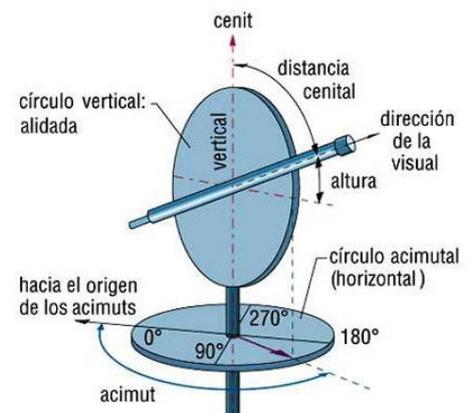
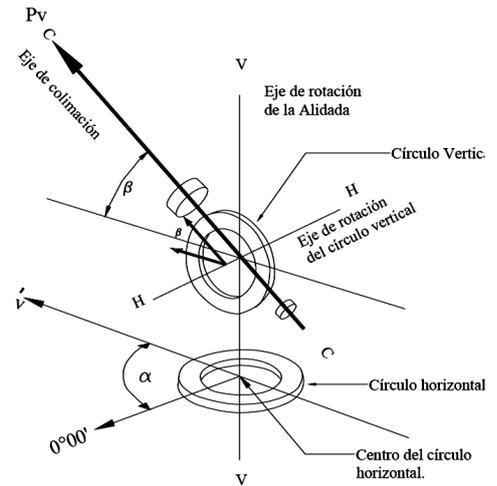
### 8. MEDICIÓN DE ANGULOS VERTICALES.

Se trata de determinar el ángulo vertical (contenido en un plano vertical) que el eje de colimación C - C del anteojo del teodolito, al pasar por un punto P, visado, forma con la vertical del lugar (V-V) y se le llama **distancia cenital**; ó con el horizonte (H-H), llamado **altura del punto P** si la visual está por encima de la horizontal o **depresión** por debajo. Si llamamos a la distancia cenital al **ángulo Z** y a la altura del punto **ángulo h**, estos ángulos están relacionados por la expresión:  $h = 90^\circ - Z$ , o sea que **h** es el complemento a  $90^\circ$  de **Z**.

El eje de colimación C-C, al girar el anteojo en su eje secundario S-S, es acompañado solidariamente por el limbo graduado vertical, suponiendo graduación corrida de  $0^\circ$  a  $360^\circ$ , tal que sobre el mismo se efectúan las lecturas mediante un índice I (y II) en este caso la lectura efectuada es la distancia cenital **Z** buscada; cuando no existen errores instrumentales. Es decir el círculo vertical enfrenta al índice.

Colocando el teodolito en estación y suponiendo la perfecta verticalidad del eje principal, cuando el eje de colimación está vertical (o sea que pasa por el cenit), la lectura que se debe realizar en el limbo con el índice I es de  $0^\circ 00' 00''$ . Si se bisecta con CI un punto P de distancia cenital **Z**; desde la vertical, el conjunto solidario limbo-anteojo gira en el eje secundario, enfrentando el índice I las divisiones en sentido creciente de  $0^\circ$  a **Z**, por lo tanto la distancia cenital correspondiente al punto P en la posición CI del teodolito es directamente la lectura efectuada con el índice I sobre el limbo. **CI = Z**.

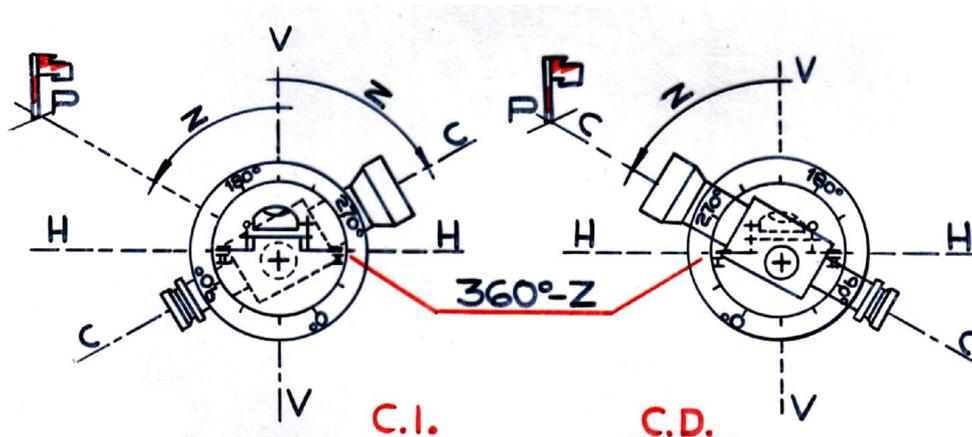
Por lo tanto **Lect CI = Z ; h = 90 - Z**



Para el caso de bisección del punto P con CD, se supone el movimiento descompuesto en 2 pasos.

1) Giro del anteojo alrededor de su eje secundario, de tal forma que el eje de colimación genere un ángulo  $2Z$  con respecto a su posición de bisección del punto P con CI; por lo que el objetivo pasará por el cenit, instante en que la lectura del índice I es de  $0^{\circ}00'00''$ , y al completar el giro total de  $2Z$  comienzan a enfrentar al índice las divisiones menores a  $360^{\circ}$  y cuando el eje de colimación forme el ángulo  $Z$  con la vertical en su nueva posición, el índice enfrentará la lectura  $360^{\circ} - Z$ , por lo tanto el eje de colimación estará en una posición simétrica de la anterior, donde el eje de simetría es la vertical.

2) Si se le da a la alidada un giro de  $180^{\circ}$ , alrededor de su eje principal, que se supone vertical, el eje de colimación, ocupará la misma posición que en el caso de CI, por lo tanto pasará por el punto P y como el índice I giró junto con la alidada, su posición con respecto al limbo vertical no variará; entonces se concluye que la lectura a efectuar al bisectar al punto P con círculo derecha es:  $CD = 360^{\circ} - Z$ .



Por lo tanto para un teodolito donde su eje principal cumple la condición de ser vertical y tal que al bisectar a un punto de distancia cenital  $Z$ , se produce precisamente la lectura  $Z$  sobre el limbo en posición CI, debe cumplirse que:

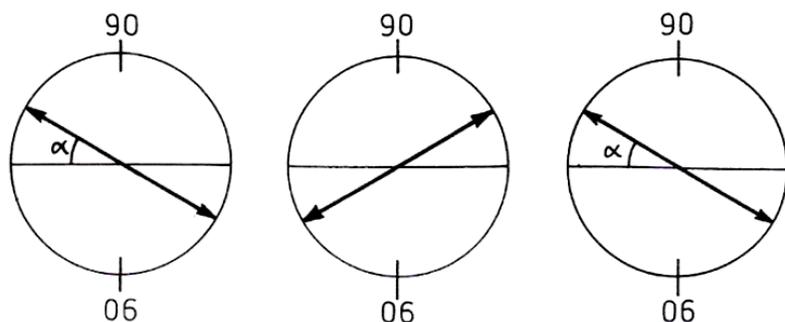
$$\text{Lect CI} = Z; \quad \text{Lect CD} = 360^{\circ} - Z \quad \therefore \quad \text{Lect CI} + \text{Lect CD} = 360^{\circ}$$

### 8.1. Medición de ángulo de altura.

Como hemos visto, en los ángulos horizontales es indiferente la posición del cero de la graduación, puesto que el valor buscado viene dado por la diferencia de dos lecturas. Ello no sucede en la medición de ángulos **verticales, sean de altura o cenitales**. En efecto, si el origen del limbo está correctamente situado en el horizonte, se tendrá secuencialmente, lectura  $L_{CI}$ , continúa con giro de  $180^{\circ}$ , basculamiento del anteojo y lectura  $L_{CD}$ .

El ángulo de altura será:

$$\alpha_h = \frac{1}{2} (L_{CD} + L_{CI})$$

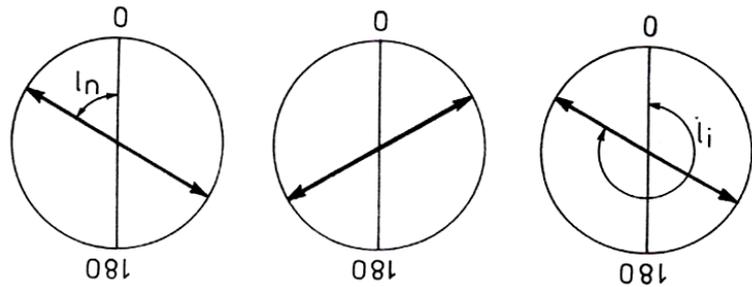


## 8.2. Medición de distancia cenital

Si el origen del limbo está correctamente situado en dirección al cenit,

La distancia cenital es

$$\alpha_z = \frac{1}{2} (360^\circ - L_{ncd} + L_{ici})$$

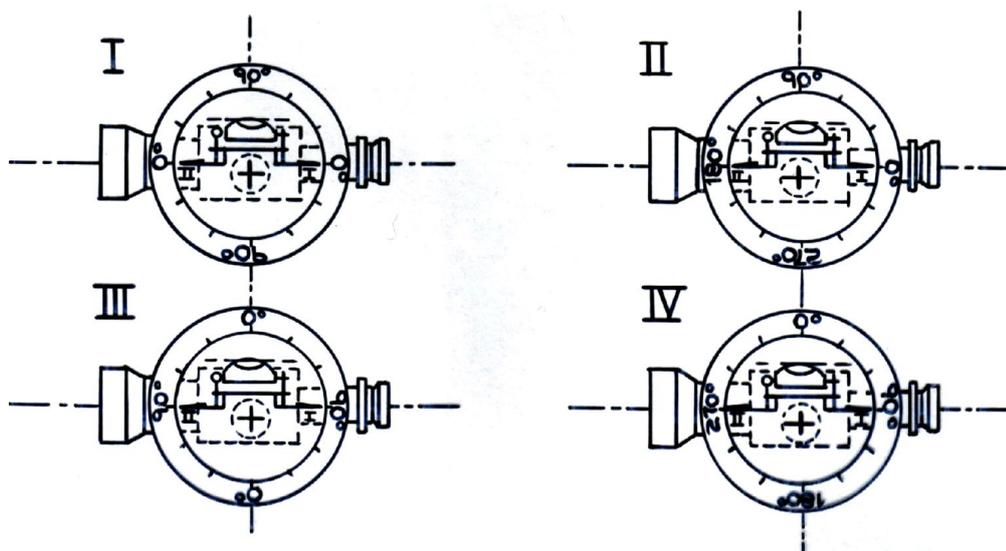


## 8.3. Distintos tipos de graduación del círculo vertical

La lectura del valor del ángulo vertical se realiza sobre el círculo vertical en forma similar, operativamente, a la analizada para los ángulos horizontales. Cualquiera sea el sistema, ya que sus componentes, el círculo con sus divisiones, graduaciones o códigos, nonio, escala, micrómetro, microscopio, sensor, etc., son semejantes o bien sus diferencias son accesorias. En los teodolitos antiguos con sistema de lectura con nonio o escala, o bien en los teodolitos ópticos con escala óptica o tornillo micrométrico, previo a la lectura, debe definirse cuidadosamente el origen, sentido y magnitud de la graduación del círculo. También se agregan los círculos divididos y codificados correspondiente a sistemas electrónicos de lecturas.

La graduación de los limbos puede ser indistintamente sexagesimal o centesimal. Los limbos cenitales tienen a veces menor diámetro que los acimutales, pero aun en este caso, suelen ir divididos en igual número de divisiones, aunque no siempre la graduación crece hasta los  $400^g$  ó  $360^0$  adoptando diversas disposiciones.

En las figuras se indican los distintos tipos de graduación de círculos verticales, que son los siguientes:



I) División por cuadrantes. Se mide el ángulo  $\alpha_n$  que una visual forma con la horizontal, ángulo que hemos llamado *altura de horizonte*. Mide alturas y depresiones: el anteojo al bascular enfrenta dos índices I y II en los extremos de un diámetro y ambos, en este tipo de graduación, darán la misma lectura; debe tenerse cuidado en anotar si la visual

es ascendente o descendente, ya que esto no puede deducirse de sólo las lecturas del limbo.

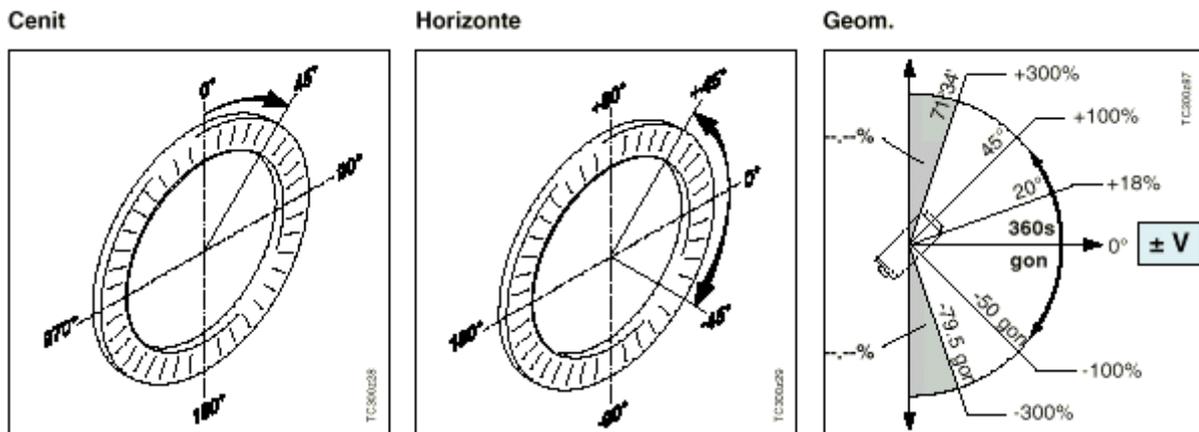
II) División corrida de derecha a izquierda. Mide ángulos de altura y depresión.

III) Por cuadrante. Mide distancia cenital con CD y nadiral con CI.

IV) División corrida de izquierda a derecha. Mide ángulos cenitales y nadirales. Las lecturas de los índices difieren en  $180^\circ$  o  $200^\circ$ . No se precisa anotar si la visual se eleva o desciende, porque ocurrirá esto último siempre que la distancia cenital sea mayor de un cuadrante

El tipo IV es el más común y usado.

En los **teodolitos electrónicos o estaciones totales**, se puede elegir como "0°" del círculo vertical la dirección del cenit o del horizonte, o expresar la lectura en %.



El ángulo V aumenta de  $0^\circ$  a  $360^\circ$  (0-400gon).

Los ángulos V situados por encima del horizonte se visualizan como valores positivos y los situados por debajo, como negativos.

100% corresponde a un ángulo de  $45^\circ$  (50 gon, 1600 mil). El valor % aumenta muy rápidamente; por eso a partir de 300% se muestra en pantalla "--,--%".

#### 8.4. Nivel de índice o nivel testigo o nivel del eclímetro

Si el eje principal tiene un cierto error  $r$ , que se transmite al limbo cenital evidentemente, se tendrá:

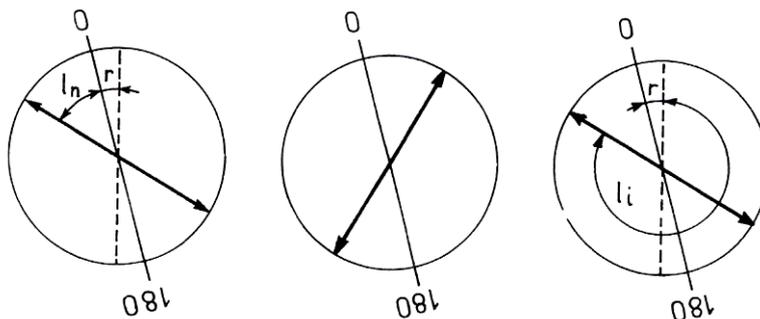
$$\text{Lect C.I.} = 360 - L_{ic_i} + r$$

$$\text{Lect C.D.} = L_{nc_d} + r$$

La distancia cenital es

$$\alpha_z = \frac{1}{2} (360^\circ - L_{nc_d} + L_{ic_i}) + r$$

conservándose íntegramente el error  $r$



Análogamente sucedería si se observasen ángulos de altura, resultando:

$$\alpha_h = \frac{1}{2} (L_{CD} + L_{CI}) + r$$

Como en la práctica no se cumple la perfecta verticalidad del eje principal, y si bien al pasar a CD el eje de colimación ocupará la misma posición respecto a la verticalidad del lugar, ya que se bisecta al mismo punto P; no ocurre lo propio con el índice pues éste gira alrededor del eje principal inclinado, por lo que para darle validez a las expresiones es necesario que el índice ocupe la misma posición respecto de la vertical tanto con CI como con CD y que sea independiente del eje principal, cosa que se logra vinculando al índice con un nivel tubular.

Entonces antes de hacer las lecturas con CI y con CD, debemos centrar la burbuja del nivel de índice o nivel testigo o nivel del eclímetro, con un tornillo de pequeños movimientos específico, denominado tornillo de elevación o basculador, ubicado sobre uno de los montantes, el que debe accionarse luego de haber puesto en estación el instrumento. La burbuja se la observa en forma directa; también existe una variante del sistema donde se lo hace a través de un nivel de coincidencia, como ya explicamos. Normalmente el nivel del eclímetro, que corrige dicho error residual, es generalmente más preciso que el nivel tubular horizontal (del plato acimutal).

Con ello se anula el error  $r$ , y salvo el engorro de tener que calar la burbuja en todas las punterías, es una solución correcta y muy extendida. No obstante, modernamente han aparecido los eclímetros automáticos, que suprimen el nivel dando la lectura correcta mediante diversos artificios de compensación.<sup>1</sup>

### **8.5. Índice vertical automático o compensadores automáticos**

El correcto posicionamiento del índice, según se ha visto, resulta esencial para la observación de ángulos cenitales o de altura, no compensándose su error posible residual por medio de la regla Bessel. A este efecto y en sustitución de los niveles de índice, muchas veces de engorrosa utilización y susceptibles a error, incluso por olvido de calarlos en cada observación, según es preceptivo, se han desarrollado diversos procedimientos de automatización de los que están provistos la gran mayoría de los teodolitos. Por medio del compensador en los denominados teodolitos de "índice vertical automático" cuyo objeto es compensar la influencia de pequeñas desviaciones residuales del eje de rotación de la alidada.

Para que actúe el compensador, la falta de verticalización no debe superar su "rango de funcionamiento" que es de alrededor de 15' por lo tanto al estacionar el instrumento ya se cumple con ese requisito.

Este tipo de control incluye el sensor-compensador de instrumental electrónico moderno de "precisión", que fuera citado al analizar la corrección automática de los efectos del error de verticalización en los ángulos horizontales.

En líneas generales, existen dos técnicas diferenciadas para los teodolitos: índice automáticos con mecanismos suspendidos pendularmente e índice automáticos de líquido es decir aprovechar la disposición horizontal de la superficie libre de los líquidos en reposo.

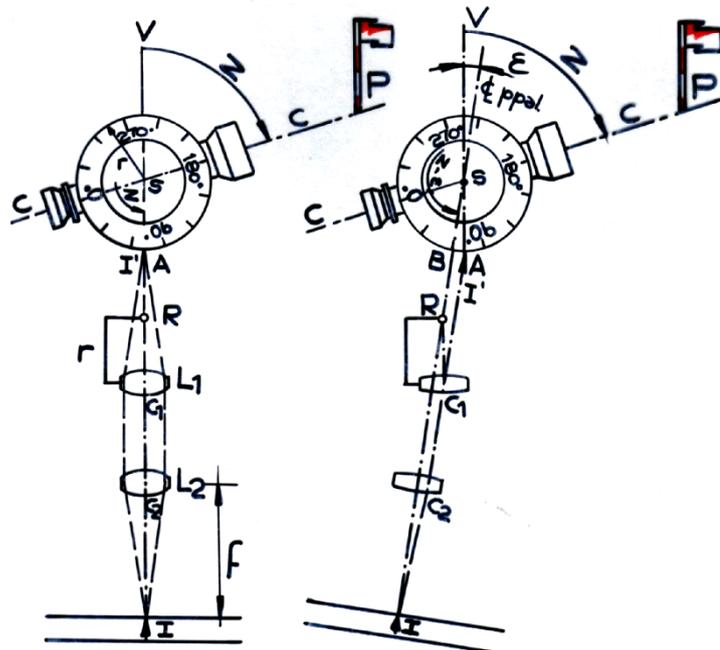
---

<sup>1</sup> M. Chueca Pazos. J.Herráez Boquera. J.Berné Valero. Tratado de Topografía 1. Teoría de Errores e Instrumentación

### 8.5.1. Índice vertical automático de péndulo

Un ejemplo de aplicación del primer tipo, mecanismos suspendidos pendularmente, se utiliza en el caso del teodolito Kern K1-A, donde las lecturas sobre los círculos no se efectúan directamente con un índice adosado al limbo, sino que la imagen de un sector del limbo es llevada a formarse en el campo de un microscopio óptico de lectura, al que se le superpone la imagen de un índice, como se ha visto en el caso del micrómetro óptico.

En las figuras analizaremos este caso: cuando el eje principal coincide con la vertical del lugar la imagen  $I'$  del índice  $I$  se forma en el punto  $A$  enfrentando a la división  $Z^\circ$  del limbo vertical, que corresponde a la medida del



ángulo cenital  $Z$  que el eje de colimación del anteojo forma con la vertical en el momento de bisectar al punto  $P$ . Ahora bien, entre el camino de los rayos luminosos desde  $I$  hasta  $I'$  se intercalan dos lentes  $L_1$  y  $L_2$  con sus respectivos centros ópticos  $c_1$  y  $c_2$ , de las cuales la primera se encuentra suspendida pendularmente del punto  $R$  y a una longitud  $r$  igual al radio del círculo graduado. Como la distancia entre el índice  $I$  y  $L_2$  es igual a la distancia focal de esta lente, los rayos luminosos provenientes de  $I$ , situado sobre el eje principal de  $L_2$ , emergen paralelamente al mismo e inciden en iguales condiciones sobre  $L_1$ , que en consecuencia produce la imagen  $I'$  en  $A$ , a su propia distancia focal.

Ahora, si el eje principal del instrumento tiene una inclinación  $\epsilon$ , y de no existir el elemento compensador  $L_1$ , la imagen  $I'$  se formaría en el punto  $B$ , por lo tanto la lectura sería el valor  $Z - \epsilon$ . Pero los rayos, provenientes de  $I$  atraviesan la lente  $L_2$  y emergen de la misma paralelamente a la dirección de su eje principal, e inciden ahora en forma oblicua sobre la lente  $L_1$ , suspendida pendularmente de  $R$ . De ese haz de rayos paralelos, uno de ellos pasará por  $c_1$ , constituyendo un eje secundario en cuyo foco imagen se formará en definitiva  $I'$ , que dicho foco se encuentre en  $A$ , resulta de la condición geométrica que impone la circunstancia de ser la figura  $SRc_1A$  un paralelogramo, por cuanto  $SA$  y  $Rc_1$  son verticales, de igual longitud e iguales a  $r$  y  $SR$  y  $c_1A$  son paralelas, por lo tanto dada la pequeñez del ángulo  $\epsilon$ , los  $c_1A$  en ambas figuras son casi coincidentes por lo que no se percibe falta de nitidez en la imagen  $I'$ .

- **Otros casos similares:**<sup>2</sup>

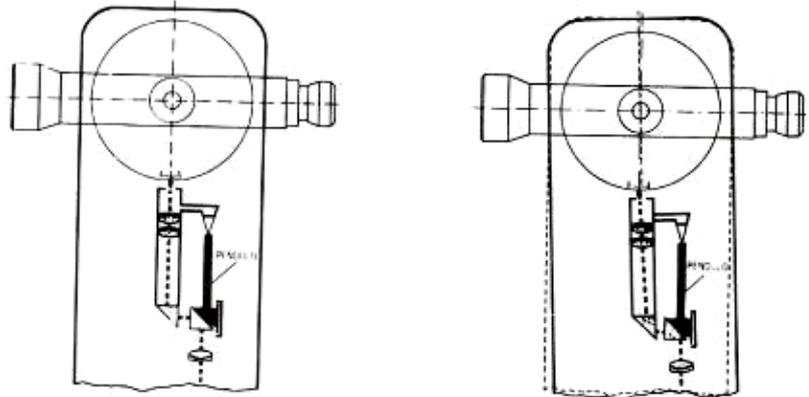
Utilizados ampliamente por firmas que se han manejado, son los más precisos y adecuados para la alta precisión de los teodolitos de segundo.

<sup>2</sup> M. Chueca Pazos. J.Herráez Boquera. J.Berné Valero. Tratado de Topografía 1.Teoría de Errores e Instrumentación

En la figura siguiente se recoge, en teodolito nivelado y con horizontalidad perturbada, la solución empleada por Askania en sus teodolitos Tu, Tt y Tts.

Se funda en utilizar un prisma del sistema óptico de lectura del limbo vertical no unido rígidamente al conjunto, sino suspendido de un péndulo que invariablemente mantiene una posición vertical, y calculado y proyectado de tal manera que cualquier movimiento de inclinación o enderezamiento del instrumento provoca una modificación en la lectura del limbo, hasta obtener la lectura correcta.

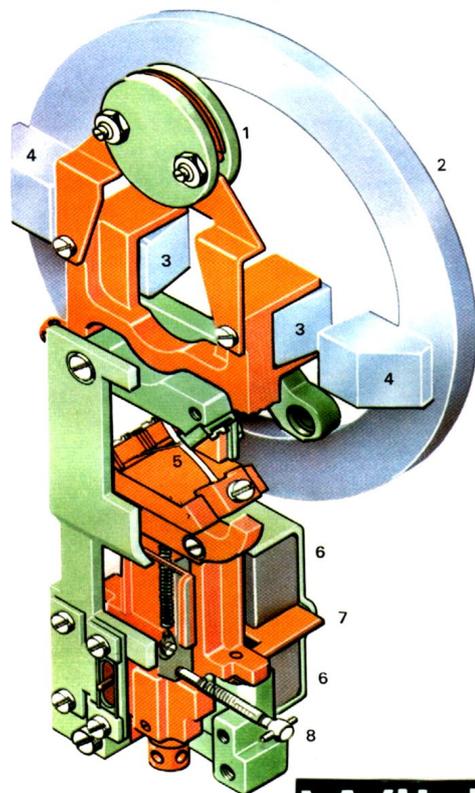
El eclímetro resulta así autoajustable y con mucha mayor precisión que mediante un nivel. Puede relacionarse la precisión obtenida con la que se derivaría de la utilización de un nivel de un segundo (que sería prácticamente imposible



de calar), es decir, solamente unas décimas de segundo de error máximo.

El ahorro de tiempo obtenido es por otra parte muy importante ya que, en vez de la tarea de calar la burbuja en cada posición, basta con esperar unos segundos a que el péndulo adopte su posición vertical de equilibrio. La desaparición de un ligero zumbido indica que se ha logrado dicha posición y puede procederse a la observación y lectura. Un amortiguador de aire reduce al mínimo el tiempo de espera.

Soluciones muy similares son empleadas por las firmas restantes en sus aparatos respectivos. Basta así con calar el nivel de la alidada y podrán realizarse visuales horizontales y cenitales. En caso de que dicho calado sea excesivamente grosero, superior a la carrera del péndulo, el rayo emergente del mismo no llega habitualmente al ocular e impide la lectura. Ello imposibilita tomar lecturas erróneas y avisa a efectos de realizar debidamente la puesta en estación.



**Wild T2**

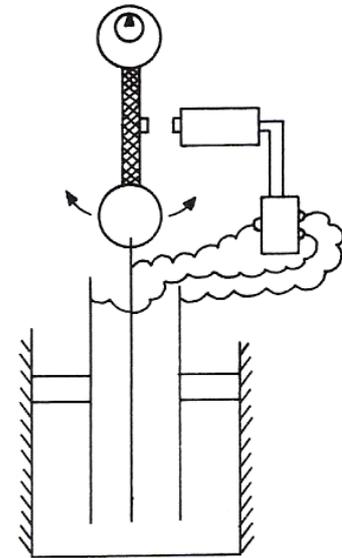
Índice vertical automático

- 1) Amortiguador transversal, 2) Círculo vertical, 3) Placas plano-paralela móviles,
- 4) Prisma para la lectura para círculo, 5) Cintas del dispositivo de suspensión, 6) Imán permanente, 7) Placa amortiguadora, 8) Tornillo de ajuste

- **Eclímetros automáticos de péndulo para teodolitos electrónicos**<sup>3</sup>

En los equipos electrónicos debe procesarse la inclinación detectada para poder ser corregida. Para ello utiliza un compensador de péndulo capacitivo, constituido por dos condensadores de dieléctrico el aire, y separación entre placas variables según la inclinación del instrumento. Esto produce una diferencia de capacidad al ser detectada y procesada permite corregir la lectura angular.

Está formado por dos placas conductoras fijadas a la carcasa y entre ellas se coloca otra móvil, pero fijada al péndulo. Estas tres placas constituyen dos condensadores. Una inclinación del instrumento provoca un desplazamiento de la placa central o móvil, de manera que en un condensador crece el espesor del dieléctrico en valor idéntico a la disminución en el otro. Esto produce una variación de la capacitancia proporcional a la inclinación del instrumento. Se podría mantener la posición vertical del péndulo, si se obligase a mantener los condensadores con igual diferencia de espesor de dieléctrico. Para ello se coloca una bobina que modifica la posición vertical, controlada en función de la diferencia de capacitancia de los condensadores.

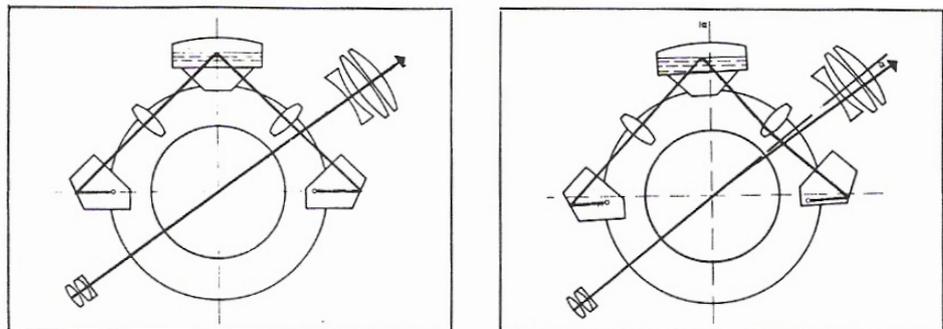


### 8.5.2. Índice vertical automático de líquido

- **Índice vertical automático de líquido por reflexión**

Existe una solución de gran precisión, similar a las anteriormente examinadas, utilizada en el teodolito DKM2-A de Kern.

Consiste, según se representa en la figura, en quebrar en una reflexión total sobre la superficie de un líquido de índice de refracción adecuado al rayo de luz procedente de uno de los puntos de lectura del limbo, y antes de incidir sobre el opuesto.



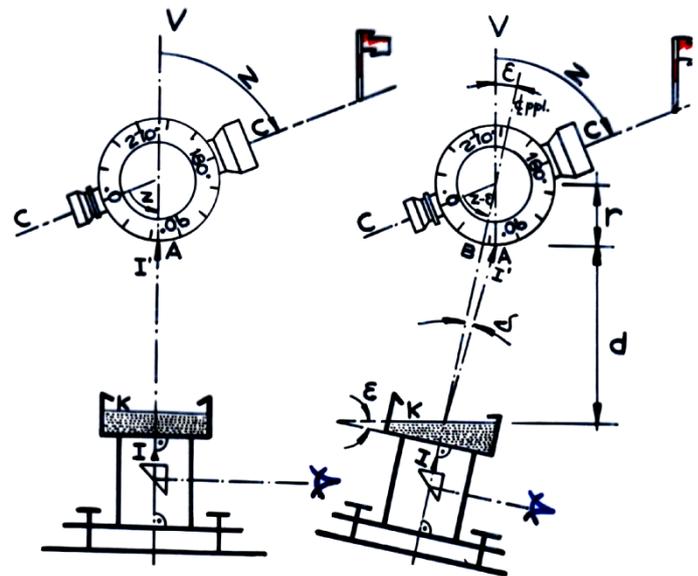
Así, si el aparato está exactamente nivelado, la lectura correcta corresponderá a dos puntos diametralmente opuestos en el limbo y simétricos con respecto a la línea cenit-nadir, resultando la marcha de los rayos en triángulo rectángulo isósceles. No existe desviación al incidir el rayo en el depósito del líquido puesto que su índice de refracción es exactamente igual al del prisma que le sirve de base. Al colocar inexactamente el instrumento, el eje vertical se desvía de la plomada, formando un ángulo  $\alpha$ . Si la lectura se hiciera en los puntos anteriores, al girar el limbo solidario al anteojo, se cometería, según sabemos, ese mismo error. Pero el ángulo de

<sup>3</sup> M. Chueca Pazos. J.Herráez Boquera. J.Berné Valero. Tratado de Topografía 1.Teoría de Errores e Instrumentación

reflexión total, que ahora valdrá  $90^\circ + 2\alpha$ , junto con la refracción adicional en la lente de salida, convenientemente calculados y contruidos, corrigen los puntos de lectura hasta situarlos simétricos con respecto a la plomada, según debe suceder para compensar el error. El problema máximo resultó ser la elección del líquido, de índice de refracción exactamente definido, con una viscosidad tal que lo haga insensible a las vibraciones, mientras que garantiza la horizontalización instantánea de su superficie, e incoloro y estable entre  $-40^\circ\text{C}$  y  $+60^\circ\text{C}$ . 1. Fue preciso probar 130 mezclas distintas hasta conseguir la adecuada.

- **Índice vertical automáticos de líquido por refracción**

Un ejemplo de aplicación del caso se utiliza en el teodolito Wild TIA, -ver fig.- para lo cual se admite la verticalidad del eje principal la imagen I' se forma en A, frente a la división Z° del limbo. Los rayos luminosos provenientes de I atraviesan el líquido contenido en la cubeta K, sin producirse una desviación, ya que en estas condiciones constituye una placa de caras planas y paralelas sobre la que los rayos inciden perpendicularmente. Ahora, si el eje principal tiene una inclinación  $\varepsilon$ , la imagen de I se formaría en B, frente a la división Z- $\varepsilon$  del círculo graduado, de no existir el líquido. Pero la cubeta K, por mantener su superficie libre horizontal, se transforma en un prisma de ángulo refringente  $\varepsilon$  que produce en los rayos que la atraviesan una desviación:



$$\delta \cong (n-1) \cdot \varepsilon$$

Siendo n el índice de refracción del líquido de la cubeta K.

Y para que la imagen I' se forme en A, es necesario que:

$$\delta \cdot d \cong AB = r \cdot \varepsilon$$

$$\Rightarrow d \cong r \cdot \varepsilon / \delta = r \cdot \varepsilon / (n-1) \cdot \varepsilon$$

$$\Rightarrow \mathbf{d \cong r / n-1}$$

Por lo tanto el fabricante dimensiona la separación  $\underline{d}$  entre la superficie del líquido y las graduaciones del limbo en función del radio de este y del índice de refracción del líquido que utiliza.

### 8.6. ERROR DE ÍNDICE

La medida del valor de los ángulos verticales al igual que los horizontales, está afectada por desajustes entre las partes del instrumento o defectos de los mismos que dan origen a los errores instrumentales. Algunos son similares al de los ángulos horizontales como el de graduación, aunque en general es menor la cantidad de influencias. El error más relevante, por no decir el único considerado en la práctica topográfica, es el denominado error de cenit originado en la deficiente ubicación relativa

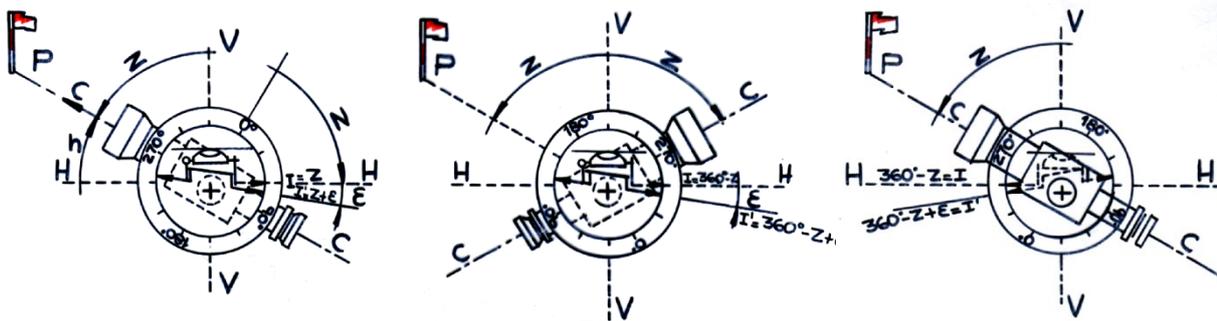
entre el índice y el círculo, dando un ángulo erróneo. Dicho de otra manera, si el anteojo está horizontal, más precisamente su eje de colimación, el índice no marca una lectura característica de  $0^\circ$  o  $90^\circ$ , mientras que esté funcionando correctamente el control, o sea centrado el nivel testigo en la forma tradicional o verticalizado el instrumento para que actúe el compensador en los teodolitos con índice vertical automático.

Esta condición o definición, puede generalizarse diciendo que el instrumento está afectado del error de cenit cuando, ubicado el eje de colimación con un ángulo  $Z$  y funcionando el sistema de control la lectura del ángulo no coincide con su valor correcto. Esta anunciación es de características teóricas pues, prácticamente, no es posible lograr la certeza en los elementos (visual, ángulo y control) en juego, ya que las partes intervinientes para que ello ocurra, (anteojo-eje de colimación, sistema de lectura y de control), tienen defectos propios que dan origen a errores de difícil, cuando no imposible, detección, individualización y determinación lo que hace improbable su corrección y/o compensación

Así es que, en la práctica, cuando determinamos el error de cenit, su valor incluirá también una serie de influencias provenientes de defectos como: graduación, excentricidad y verticalidad del círculo; de lectura y del sistema que la provee; verticalización, bisección, del sistema de control, (nivel testigo o compensador). Ello sin olvidar la incidencia de factores personales y las influencias de las condiciones imperantes durante la medición.

- **Determinación del error de cenit**

Si el índice no ocupa la posición correcta  $I$ , (admitiendo la perfecta verticalidad del eje principal), al bisectar al punto  $P$  de distancia cenital  $Z$ , se comete un error en la determinación del ángulo, que corresponde al desplazamiento  $\epsilon$  del índice  $I$  a la posición  $I'$ , por lo tanto la lectura con círculo Izquierda será:  $CI = Z + \epsilon$  (para un corrimiento del índice como el indicado en la figura  $\epsilon > 0$  y si fuera  $\epsilon < 0 \Rightarrow CI = Z - \epsilon$ ); al pasar a  $CD$  se leerá  $CD = 360^\circ - Z + \epsilon$ .



Lect  $CI = Z + \epsilon$  (1)

Lect  $CI = 360 - Z + \epsilon$

Lect  $CD = 360 - Z + \epsilon$  (2)

Sumando (1) y (2) obtenemos:

$$CI + CD = 360^\circ + 2 \epsilon \Rightarrow \epsilon = \frac{1}{2} (CI + CD - 360^\circ) \quad (3)$$

Restando (1) y (2) obtenemos:

$$CI - CD = 2Z - 360^\circ \Rightarrow Z = \frac{1}{2} (CI + (360^\circ - CD)) \quad (4)$$

Si operamos con un instrumento que posea error de índice, (aún cuando queden errores residuales de calaje y posea nivel testigo), utilizando el método de Bessel, en virtud de la ecuación (4), podemos determinar el verdadero valor de la distancia cenital Z, prescindiendo de la evaluación del error.

El procedimiento para determinar la existencia del error de índice consiste en bisectar un punto cualquiera con CI y CD y efectuar las lecturas. Con los valores obtenidos y con las ecuaciones (3) y (4) obtenemos el valor del error y el valor de Z respectivamente, aunque en la práctica se suman las lecturas de CI y CD y si dicha suma supera los 360° quiere decir que el error es positivo e igual a la mitad de exceso y se resta de CI obteniéndose el verdadero valor de Z. Si dicha suma es menor que 360°, entonces el error es negativo e igual a la mitad de la diferencia y se suma a CI para obtener el valor Z; esto se realiza teniendo en cuenta que la corrección es de signo contrario al del error.

- **Corrección**

Ahora, cuando sea necesario trabajar con una sola posición del círculo, a veces, es conveniente efectuar la corrección en el instrumento del error, realizándose de tres maneras con:

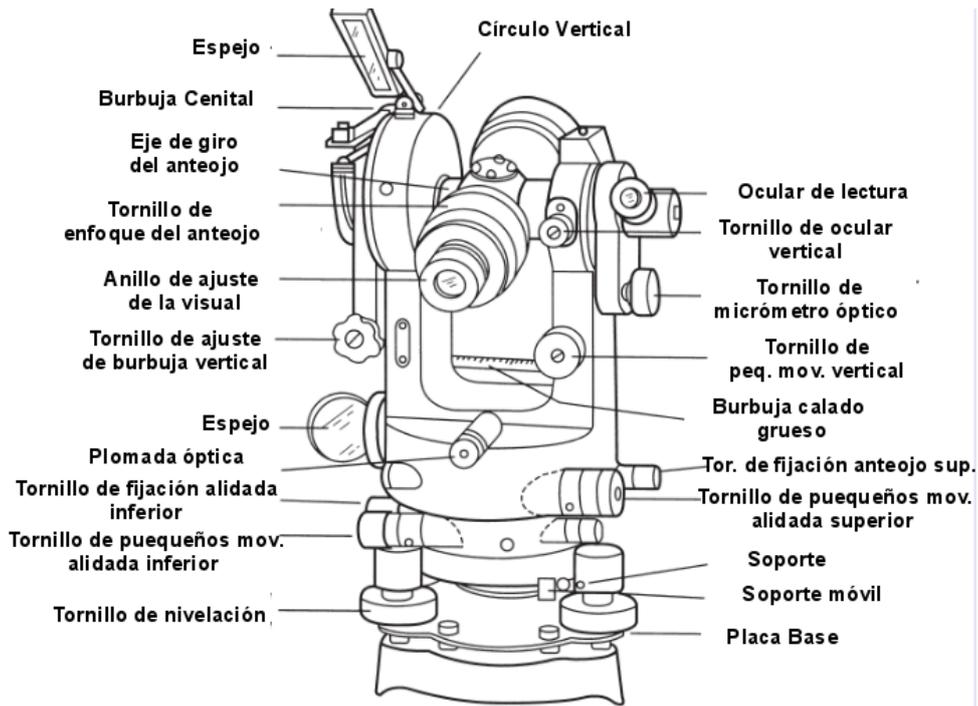
1. Conociendo cuánto vale el error de índice  $\varepsilon$  y con el tornillo de elevación o basculador, se provoca la lectura correcta. Por lo que se descorrige la burbuja del nivel de índice; entonces se corrige con los tornillos de propios del nivel de índice, centrándola.
2. Otra forma es que, conociendo el error y a burbuja centrada, se provoca con el tornillo de pequeños movimientos verticales, la lectura verdadera, entonces el hilo medio varía de su posición, bisectada al punto P, por lo que se restituye la bisección con los tornillos propios de la pantalla del retículo.
3. Otra para sistema automático: conociendo el error, se provoca la lectura verdadera variando la posición, del índice con el tornillo propios de ajuste.

Una consecuencia inmediata de todo lo expuesto es que si el eje de colimación está en posición horizontal y centramos la burbuja del nivel de índice, debemos leer 90° (CI) ó 270° (CD), de lo contrario existe error de índice.

Ejemplo:

Lecturas efectuadas

$$\begin{aligned}
 CI &= 72^\circ 24' 20'' \\
 CD &= \underline{287^\circ 38' 00''} \\
 \Sigma &= 360^\circ 02' 20'' \\
 \therefore \varepsilon &= \frac{CI + CD - 360^\circ}{2} = + 0^\circ 1' 10'' \\
 \Rightarrow C_\varepsilon &= - 1' 10'' \\
 CI &= 72^\circ 24' 20'' \\
 360^\circ - CD &= \underline{360^\circ - 287^\circ 38' 00''} \\
 \Sigma &= 144^\circ 46' 20'' \\
 \therefore Z &= \frac{CI + (360^\circ - CD)}{2} = 72^\circ 23' 10'' \\
 \text{Lecturas corregidas: CI: } &72^\circ 23' 10'' \\
 &CD: 287^\circ 36' 50
 \end{aligned}$$



### Error por Refracción.

Como hemos visto, la refracción atmosférica provoca error en la medida de los ángulos verticales, de manera que el valor obtenido,  $Z_i$  o  $Z_d$ , correspondiente a la dirección hacia donde apunta el eje de colimación (punto P) es normalmente menor que la del punto  $P_o$  observado en el hilo horizontal del anteojo.

Si bien en topografía los ángulos verticales son menos utilizados que los horizontales, su aplicación es esencial para proyectar las distancias inclinadas que regularmente se miden con el instrumental electrónico, y por lo tanto indispensable para obtener valores con cierta precisión. Cabe recordar que los efectos de la refracción dependen básicamente del cambio de densidad de la atmósfera que atraviesa la visual, la que está en relación con la presión, temperatura y humedad de la misma, así también como de la distancia que recorre y la altura del punto observado

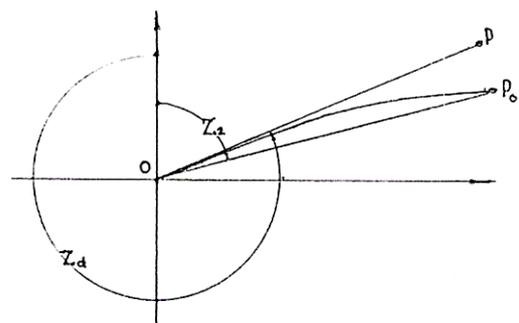
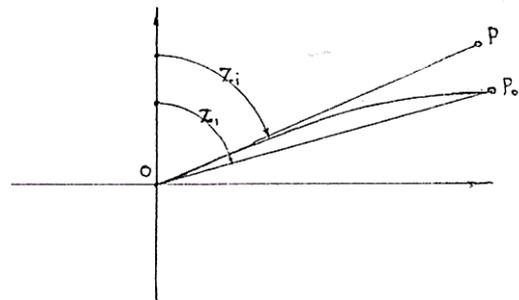
Los efectos de la refracción no se compensan operando con CI y CD, como resulta del análisis de la figura, donde:

Con CI lectura correcta  $Z_1 = Z_i + \epsilon_r$

Con CD la lectura correcta  $Z_2 = 360^\circ - Z_d + \epsilon_r$

Promediando:  $Z = \frac{1}{2} (Z_1 + Z_2) = \frac{1}{2} (Z_i + \epsilon_r + 360^\circ - Z_d + \epsilon_r)$

$$Z = \frac{1}{2} (Z_i + 360^\circ - Z_d) + \epsilon_r$$



No obstante, en topografía regularmente no se realiza esta corrección, por un lado porque no es simple y fundamentalmente porque:

- a) Las distancias son cortas y alcanzan poca altura, por lo que no hay cambios sustanciales en la densidad de la atmósfera que atraviesa la visual.
- b) Las visuales se desarrollan entre y/o sobre lugares con edificación, vegetación, etc. por lo que la densidad atmosférica se altera, observando intercambios permanentes por factores locales

## 9. DISTINTOS TIPOS Y MODELOS DE TEODOLITOS – Ópticos – Electrónicos

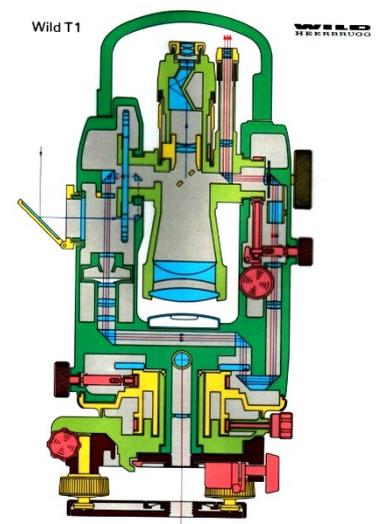
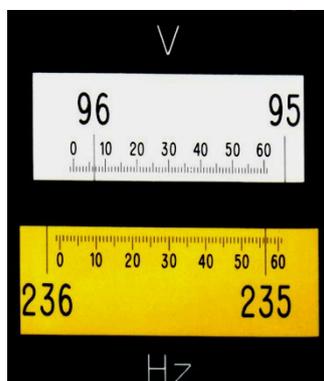
### 9.1. TEODOLITOS ÓPTICOS. <sup>4</sup>

Realizar una clasificación coherente y completa de todos los teodolitos que ofrece hoy el mercado es tarea difícilmente abordable y, desde luego, resultaría de escasa utilidad práctica. No obstante, parece procedente a lo menos dar una visión de conjunto de aquellas firmas más acreditadas y de mayor difusión, agrupando los modelos que cada una ofrece según su precisión y aplicación práctica.

Así, en los cuadros que siguen, y citándonos solamente a firmas de primera línea alemanas, suizas, italianas, húngaras y japonesas, ofrecemos las características técnicas principales de su producción, convencionalmente divididas en:

- Teodolitos de segundo con micrómetro óptico de coincidencia por placa plano paralela.
- Teodolitos de minuto con micrómetro óptico de estima por escalas.
- Teodolitos de minuto o fracción con micrómetro óptico de coincidencia por placa plano paralela.
- Teodolitos de menor precisión y tipos diversos.

El conjunto indicado cubre ampliamente todo el trabajo topográfico, de pequeña, media y alta precisión, llegando al límite de la Geodesia de tercer orden y las observaciones de Astronomía Geodésica de posición usuales. Se acompaña algún tipo de teodolito geodésico y astrogeodésico, de aplicación en Geodesia de 2° y 1° orden, seguimiento de satélites y globos sonda, hasta cubrir los requerimientos de la geodesia espacial y las determinaciones astronómicas necesarias, con las mayores precisiones alcanzables en la actualidad.



<sup>4</sup> M. Chueca Pazos. J.Herráez Boquera. J.Berné Valero. Tratado de Topografía 1. Teoría de Errores e Instrumentación

### 9.1.1. Teodolitos de segundo, con micrómetro óptico de coincidencia por placa plano paralela

Corresponden todos ellos a las características de lectura en dos puntos diametralmente opuestos del limbo, tanto por el sistema Wild como por el doble círculo. Disponen asimismo de micrómetro óptico de placa plano paralela, con última graduación en el segundo sexagesimal o centesimal. Suponen la máxima precisión necesaria y adecuada en trabajos topográficos. Son utilizados en triangulaciones topográficas de cualquier orden, medida de bases con estadía, de invar, poligonaciones de alta precisión, etc.

En la industria, su elevada exactitud los faculta para ser utilizados en controles de deformación, deslizamientos, replanteos muy precisos de grandes máquinas, etc. Los modelos más utilizados se recogen en el cuadro siguiente:

Puede observarse la homogeneidad de

CARACTERÍSTICAS DE LOS TEODOLITOS SOKKISHA

Características	• Teodolitos				• Taquímetros			
	TM1A	TM6	TM10E/	TM20H/ HS	TS6	T60E	TS20A	NO10C/ BT20
<i>Anteojos</i>								
Longitud (mm)	170	170	170	160	170	160	160	170
Imagen	Directa	Directa	Directa	Directa	Directa	Directa	Directa	Directa
Abertura de objetivo (mm)	45	45	45	45	45	45	45	45
Aumentos	30 ×	30 ×	30 ×	30 ×	30 ×	30 ×	30 ×	30 ×
Campo de visión	1°30' (26 m)	1°30' (26 m)	1°30' (26 m)	1°30' (26 m)	1°30' (26 m)	1°30' (26 m)	1°30' (26 m)	1°30' (26 m)
Potencia de resolución	2,5"	3"	3"	3"	3"	3"	3"	3"
Foco mínimo (m)	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Reticulo	1:100	1:100	1:100	1:100	1:100	1:100	1:100	1:100
Constante adicional	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Círculo vertical</i>								
Diámetro (mm)	94	80	80	76	95	82	82	110/120
Lectura directa	1"	6" (digital)	10" (digital)	20" (digital)	1"	1"	1"	—
Estimación	0,1"	3"	5"	10"	0,1'	—	20"	—
Graduación	—	—	—	—	—	—	—	20'
Vernier	—	—	—	—	—	—	—	20'
<i>Círculo horizontal</i>								
Diámetro (mm)	80	70	70	76	85	76	76	68/80
Lectura directa	1"	6" (digital)	10" (digital)	20" (digital)	1"	1"	1"	—
Estimación	0,1"	3"	5"	10"	0,1"	—	—	—
Graduación	—	—	—	—	—	—	—	30'
Vernier	—	—	—	—	—	—	—	1'
<i>Compensador</i>								
Precisión	±0,3"	±0,5"	±0,5"	±0,5"	±0,5"	±0,5"	—	—
Margen	+2'	+5'	+5'	+5'	+5'	+5'	—	—
<i>Sensibilidad de nivel</i>								
Nivel de anteojo (/2 mm)	—	—	—	—	—	—	40"	40"
Nivel de la placa (/2 mm)	20"	30"	30"	30"/40"	30"	30"	30"	90"
Nivel circular (/2 mm)	10'	10'	10'	10'	10'	10'	10'	10'
<i>Plomada óptica</i>								
Imagen	Directa	Directa	Directa	Directa	Directa	Directa	Directa	Directa
Aumentos	2 ×	2 ×	2 ×	2 ×	2 ×	2 ×	2 ×	2 ×
Foco mínimo (m)	0,5	0,5	0,5	0,1	0,5	0,1	0,1	0,5
<i>Peso</i>								
Instrumento (kg)	6,0	5,6	5,6	4,6/4,1	5,6	4,4	3,9	5,3/4,3

características de todos ellos, que conduce a la obvia conclusión de la similar calidad y prestaciones que ofrecen. Realmente, las marcas estudiadas cumplen su cometido de forma muy pareja, y la decisión, a la hora de seleccionar una de ellas, tal vez deba basarse más en razones económicas de adquisición en el momento de que se trate y en eficiencia del servicio postventa, que en la pura calidad y técnica de construcción y montaje contenidos en el instrumento a elegir, que, repetidos, son suficientes y de análogo nivel en todos los considerados.

### 9.1.2. Teodolitos de minuto con micrómetro óptico de estima por escalas

Se trata del modelo más específicamente topográfico, capaz de cubrir eficiente mente y con versatilidad la gran mayoría de las aplicaciones usuales. Podríamos afirmar que es el aparato topográfico tipo y exclusivamente pensado para dicho fin

Se utiliza en triangulaciones, poligonaciones, taquimetría, toma de puntos de relleno, demarcaciones y deslindes, planos de población, trazado de vías de comunicación. replanteos, perfiles, trabajos catastrales, etc. Generalmente con lectura en un solo punto del limbo y con micrómetro de estima con apreciación del minuto.

Firma	Zeiss(Ob.)		Zeiss(Jena)	Kern	Wild	Askania	MOM(Hungría)	
Modelo	Th42	Th41	Theo 020A	K1-S	T-16	Tts	Te-D21	Te-D41
Aumento antejo	30 ×	30 ×	25 ×	30 ×	30 ×	30 ×	26 ×	26 ×
Abertura antejo	40 mm	40 mm	36 mm	45 mm	42 mm	45 mm	40 mm	40 mm
Distancia mín. enfoque	1,6 m	1,6 m	1,7 m	1,7 m	1,5 m	1,5 m	2 m	2 m
Cte. diastimométrica	100	100	100	100	100	100	100	100
Cte. aditiva	0	0	0	0	0	0	0	0
Sensibilidad nivel tórico	30"	30"	20"	30"	30"	30"	30"	30"
Sensibilidad nivel esférico	15'	15'	8'	—	8'	10'	6'	6'
Índice automático/ precisión	péndulo/1"	no tiene	péndulo/1"	péndulo/6"	péndulo/1"	péndulo/0" 5	no automá- tico nivel 30"/10"	péndulo 1"
Diámetro limbo/H	98 mm	98 mm	86 mm	89 mm	94 mm	90 mm	76 mm	76 mm
Diámetro limbo/V	85 mm	85 mm	86 mm	70 mm	79 mm	70 mm	68 mm	68 mm
División H/V	1°/1 <sup>g</sup>	1° 1 <sup>g</sup>	1°/1 <sup>g</sup>	1°/1 <sup>g</sup>	1°/1 <sup>g</sup>	1°/1 <sup>g</sup>	1°/1 <sup>g</sup>	1° 1 <sup>g</sup>
División micrómetro	20"/1°	20"/1°	30"/1°	30"/1°	1"/1°	1"/1°	2"/1°	1' 2°
lectura por { H	10"/0,2°	10"/0,2°	15"/0,2°	15"/0,2°	15"/0,2°	15"/0,2°	15"/0,5°	15"/0,5°
apreciación { V	10"/0,2°	10"/0,2°	15"/0,2°	15"/0,2°	15"/0,2°	15"/0,2°	15"/0,2°	15"/0,2°
Centrado forzoso	Perno Zeiss	Perno Zeiss	Gorrón enchufe	Placa Kern	Base Wild	Gorrón enchufe	Gorrón enchufe	Gorrón enchufe
Plomada óptica	Sí	Sí	Sí	Bastón centrador	Sí	Sí	Sí	Sí
Peso aparato	4,7 kg	4,7 kg	4,2 kg	4,6 kg	4,7 kg	4,6 kg	4,6 kg	4,6 kg
Peso estuche	4,2 kg	4,2 kg	4,4 kg	2,4 kg	2,0 kg	2,2 kg	3,1 kg	3,1 kg
Peso trípode	4,8 kg	4,8 kg	5,8 kg	6,0 kg	5,8 kg	4,9 kg	5,1 kg	5,1 kg

### 9.1.3. Teodolitos de minuto o fracción con micrómetro óptico de placa plano paralela

No obstante, su empleo es más lento por la necesidad de centrar el micrómetro en cada colimación. Por ello son más recomendables en líneas generales los contenidos en el epígrafe indicado. Se recogen las características esenciales de algunos de ellos en el cuadro siguientes.

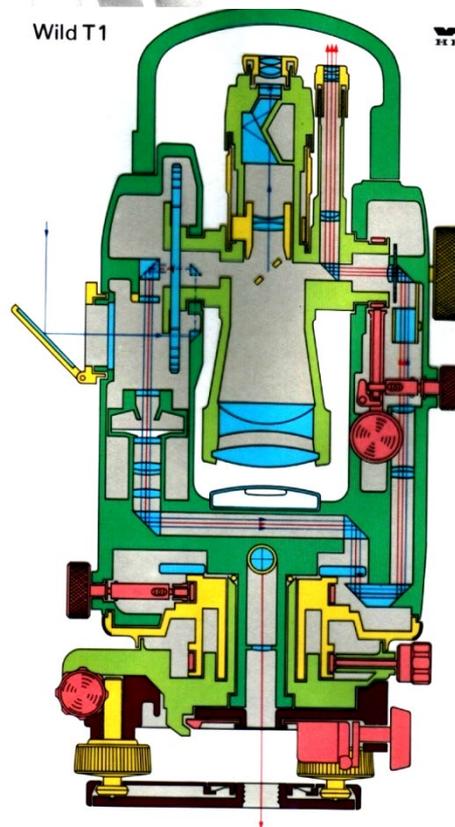
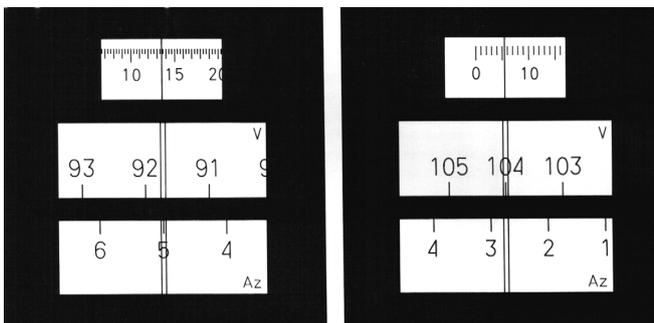
Modelo	DKM-1	K1-A	Tt	T1-A	D-31	TG3b	NT-2
Aumento antejo	20 ×	28 ×	30 ×	28 ×	24 ×	22 ×	25 ×
Abertura antejo	30 mm	45 mm	45 mm	40 mm	40 mm	28 mm	40 mm
Distancia mínima enfoque	0,9 m	1,8 m	1,5 m	2,2 m	2,5 m	1,8 m	1,8 m
Cte. diastimométrica	100	100	100	100	100	100	100
Cte. aditiva	0	0	0	0	0	0	0
Sensibilidad nivel tórico	30"	40"	20"	30"	30"	30"	1,40"
Sensibilidad nivel esférico	—	—	10'	—	6'	30'	—
Índice automático	no tiene	péndulo/1"	péndulo/0" 5	líquido	péndulo/1"	no tiene	no tiene
Eclímetro/precisión	nivel 30"/10"					nivel 50"/16"	nivel 40"/13"
Diámetro limbo H	50 mm	89 mm	90 mm	79 mm	77 mm	49 mm	84 mm
Diámetro limbo V	50 mm	70 mm	70 mm	79 mm	68 mm	49 mm	84 mm
División H/V	20"/20°	1°/1 <sup>g</sup>	1°/1 <sup>g</sup>	1°/1 <sup>g</sup>	1°/1 <sup>g</sup>	1°/1 <sup>g</sup>	1°/1 <sup>g</sup>
División micrómetro	10"/10 <sup>cc</sup>	20"/1°	20"/1°	20"/1°	1"/1°	1"/2°	10"/0,5°
lectura por { H	2"/5 <sup>cc</sup>	5"/10 <sup>cc</sup>	5"/10 <sup>cc</sup>	5"/10 <sup>cc</sup>	10"/20°	15"/50 <sup>cc</sup>	0,2°
apreciación { V	2"/5°	5"/10 <sup>cc</sup>	5"/10 <sup>cc</sup>	5"/10 <sup>cc</sup>	10"/20 <sup>cc</sup>	15"/50 <sup>cc</sup>	0,2°
Centrado forzoso	Placa Kern	Placa Kern	Perno enchufe	Base Wild	Gorrón enchufe	Base Galileo	No tiene
Plomada óptica	Bastón centrador	Bastón centrador	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Peso aparato	1,8 kg	4,2 kg	4,6 kg	5,0 kg	4,8 kg	4,9 kg	5,0 kg
Peso estuche	1,0 kg	2,2 kg	2,2 kg	2,0 kg	3,1 kg	2,5 kg	4,5 kg
Peso trípode	4,5 kg	5,2 kg	4,9 kg	5,8 kg	5,1 kg	6,1 kg	4,2 kg

Teodolito marca Wild, modelo T1A 28x aumentos, sensibilidad de nivel de alidada 30"/2mm, índice vertical automático, círculos 360° o 400<sup>g</sup>, apreciación 20", estima 5".

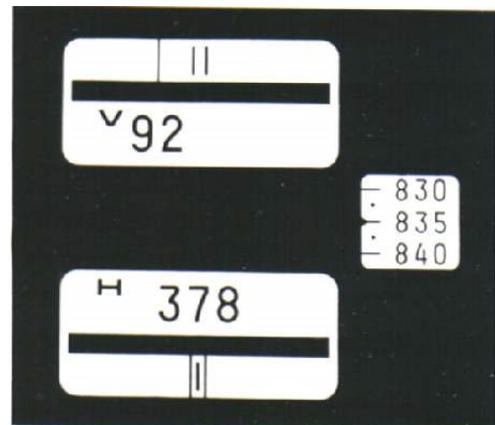
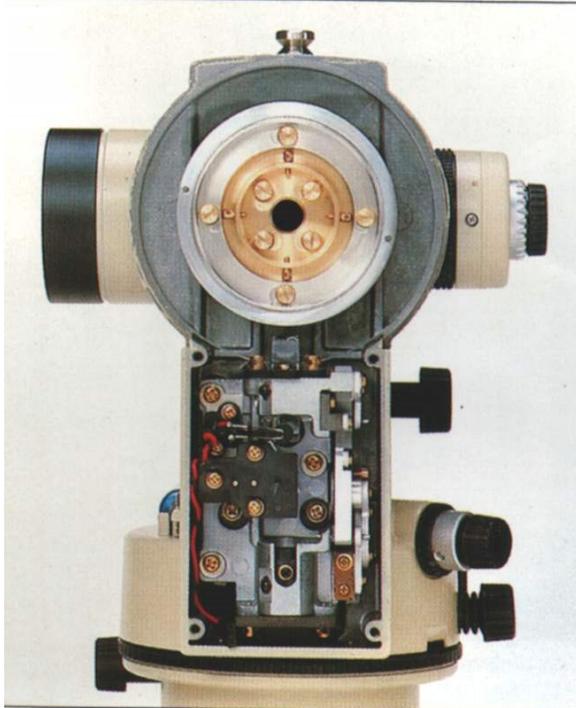


Wild T1

WILD  
HEERBRUGG



Teodolito marca **Pentax**, modelo **TH-20D** 30x aumentos, sensibilidad de nivel de alidada 30"/2mm, índice vertical automático, círculos 360° o 400<sup>g</sup>, apreciación 20", estima 5".



Teodolito marca **Sokkisha**, modelo **TM20E**, 30x aumentos, sensibilidad de nivel de alidada 40"/2mm, índice vertical automático, círculos 360° o 400°, apreciación 20", estima 5".



Teodolito marca **Topcon**, modelo **TL-6DE**, 30x aumentos, sensibilidad de niveles de alidada 30"/2mm, índice vertical automático, círculos 360° o 400°, apreciación 6".



#### 9.1.4. Teodolitos de menor precisión y tipos diversos

Comprende toda la innumerable gama de teodolitos de pequeña precisión para puntos de relleno, alineaciones, construcción, obras públicas, etc. Su menor exigencia permite la proliferación de firmas.

Sin entrar en detalles, citaremos el DK 1 de Kern, de doble círculo, con lectura directa de  $10'/10^\circ$  y apreciación de  $2'/3^\circ$ ; el Zeiss (Ob.) Th-51 de lectura directa  $1'/1^\circ$  y apreciación  $20''/50^\circ$ ; el Theo 80 de Zeiss de Jena, de lectura directa  $5'/10^\circ$  y apreciación  $2'/4^\circ$ , y el Nikon H5, que presenta la curiosidad de mantener aún la lectura por nonius en ambos círculos, con lectura directa de  $20''$  en el círculo horizontal y  $1'$  en el vertical, con apreciación  $12''$  y  $20''$  respectivamente

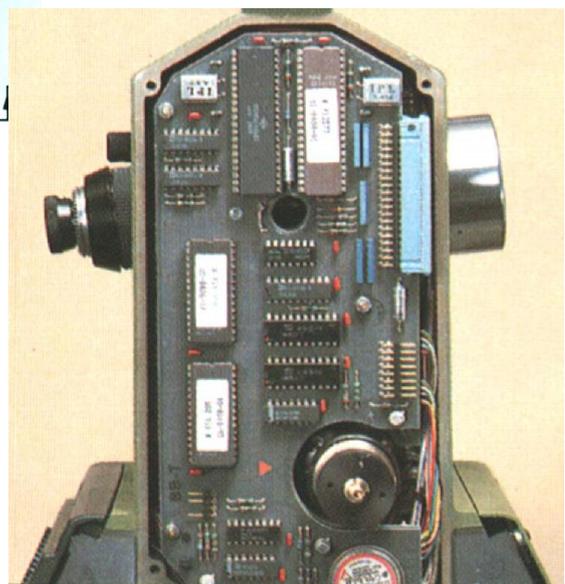
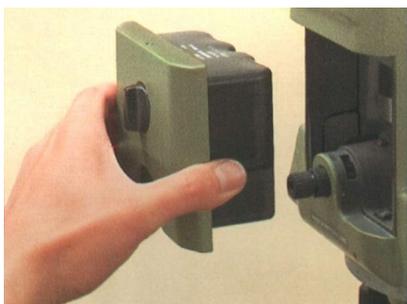
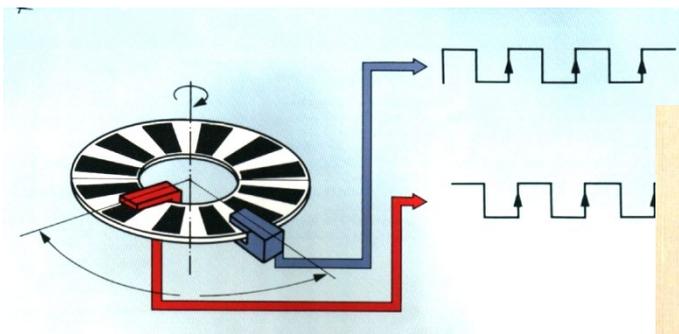
#### 9.1.5. Teodolitos geodésicos y astrogeodésicos

Fuera del campo de la Topografía, en Geodesia, Astronomía geodésica, Aeronomía, seguimientos de globos sonda y satélites espaciales, etc., se utilizan teodolitos de extrema precisión. Citemos los Wild T-3 y T-4, los DKM-3 y DKM-3A Kern, el Theo 002 Zeiss (Jena) y los teodolitos de precisión y especiales ASKANIA modelos Tpr (para geodesia de 1º orden), Gtl, para seguimiento de globos sonda, Tpot para control óptico directo en seguridad aérea, y Kth para Geodesia Espacial y determinación de trayectorias, con registro fotográfico.

Aparatos muy pesados (más de 50 kg), de complicada óptica con anteojos de más de 45 aumentos, y lecturas directas de a lo menos  $0'',5$ .

#### 9.2. TEODOLITOS ELECTRÓNICOS

Son aquellos que han sustituido su limbo óptico por un sistema electrónico angular. La medición absoluta del ángulo se basa en una captación dinámica del ángulo con exploración optoelectrónica. En cada medición del ángulo, todos los trazos del círculo son explorados con lo cual queda eliminados el influjo de eventuales errores en la graduación. Las mediciones se llevan a cabo en posiciones diametrales.

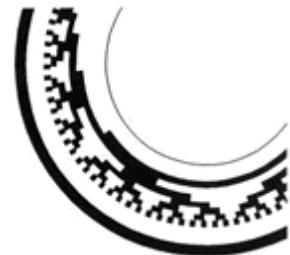


### 9.2.1. Ventajas de los teodolitos electrónicos:

- La principal diferencia entre el teodolito clásico y el electrónico consiste en que se sustituyó la lectura óptica del círculo o limbo por una captación electrónica del ángulo.
- Un teodolito electrónico realiza la medición de los ángulos empleando un sensor fotoeléctrico, en lugar del ojo del operador, presentando luego la lectura del limbo sobre una pantalla de cuarzo líquido.
- Fácil lectura de los ángulos, ya que estas magnitudes son mostradas en forma digital y con indicación de las unidades.
- Mejora de la precisión respecto a un teodolito óptico mecánico del mismo error instrumental, ya que se elimina el error de estimación.
- Posibilidad de conexión directa con un distanciómetro electrónico.
- Posibilidad de realizar cálculos de distancias reducidas y coordenadas, al instante de realizar las mediciones angulares y de distancia.
- Registro de los valores medidos y calculados en la memoria del instrumento, tarjetas de memoria o colectores externos, eliminando los errores de escritura en la Libreta de Campo. Los datos son transferidos directamente a la PC para su posterior procesamiento.
- Manejo de Códigos de Campo, para la automatización del proceso de levantamiento.
- Programas para realizar cálculos en el campo, tales como Orientación del Círculo, Estación Libre, etc.
- Programas de prueba, que ayudan a verificar la calibración y estado del equipo.

### 9.2.2. Consideraciones generales sobre la medición de ángulos (Hz, V) en un teodolito electrónico

En la medida electrónica de ángulos, los limbos se disponen clásicamente, es decir igual que en los aparatos óptico-mecánicos. La diferencia estriba en que los limbos electrónicos convierten la magnitud analógica correspondiente a un giro, en un valor digital, permitiendo de este modo su tratamiento informático.



El soporte de estos limbos suele ser de vidrio en la mayoría de los casos y la lectura sigue un procedimiento electro-óptico.

Pueden funcionar por **transparencia** (la mayoría) o por **reflexión**.

En el caso de los de **transparencia**, la codificación se hace de modo que se interrumpa o no el camino óptico de un rayo entre la fuente y el fotodetector, y en el caso de los de **reflexión**, que se refleje o no.

Existen varios tipos de codificación de limbos, también con distinta resolución en cada caso, que darán mayor o menor precisión en la medida del ángulo.

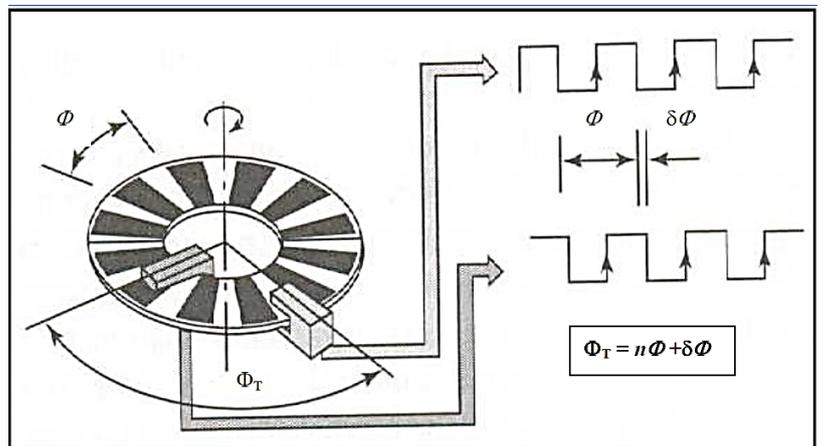
Existen dos sistemas de lectura electrónica, la incremental y la absoluta.

### 9.2.3. Codificador incremental.

Estos limbos no tienen ningún valor representado en su superficie, por lo que no pueden hacer una lectura angular aislada, sino sólo miden incrementos de valores angulares.

Todas las medidas se refieren a una dirección inicial aleatoria y a la que generalmente se le asigna el valor cero, y que se mantiene constante durante todo el trabajo o sea que debe conocerse la posición inicial para determinar una medición total.

Un sistema de medición que tipifica este método es la captación dinámica del ángulo que usa por ejemplo el teodolito Wild T2002. Los círculos constan de placas de vidrio divididas en 1024 segmentos igualmente espaciados y dos pares de fotodiodos montados diametralmente opuestos entre sí. La figura siguiente muestra el círculo y un par de fotodiodos, uno de esos fotodiodos está fijo y presenta el punto cero en la escala; el otro gira con el telescopio. Durante mediciones de ángulo el círculo mismo gira impulsado por un motor eléctrico y una fuente de luz brilla sobre el círculo, la cual en forma continua se interrumpe por las graduaciones, generando una onda cuadrada en el fotodiodo. El ángulo se deriva de 2 mediciones,  $n\phi + \delta\phi$ . Para la medición burda,  $n\phi$ , una de las marcas de



referencia del círculo lo pasa el primer fotodiodo que activa un contador del número de graduaciones antes que la misma marca de referencia pase el segundo fotodiodo, generando  $n$ . La medición fina,  $\delta\phi$ , se obtiene de la diferencia de fase entre las ondas cuadradas en los dos diodos. Durante la medición de un ángulo este proceso se realiza en forma simultánea en ambos lados del círculo mediante los dos pares de fotodiodos. Cada revolución del círculo produce 512 mediciones separadas de ángulo empleando todas las partes del círculo rotatorio y, de esta manera, se eliminan la excentricidad del círculo y los errores de graduación y el T2002 puede medir ángulos con una precisión de 0,1".

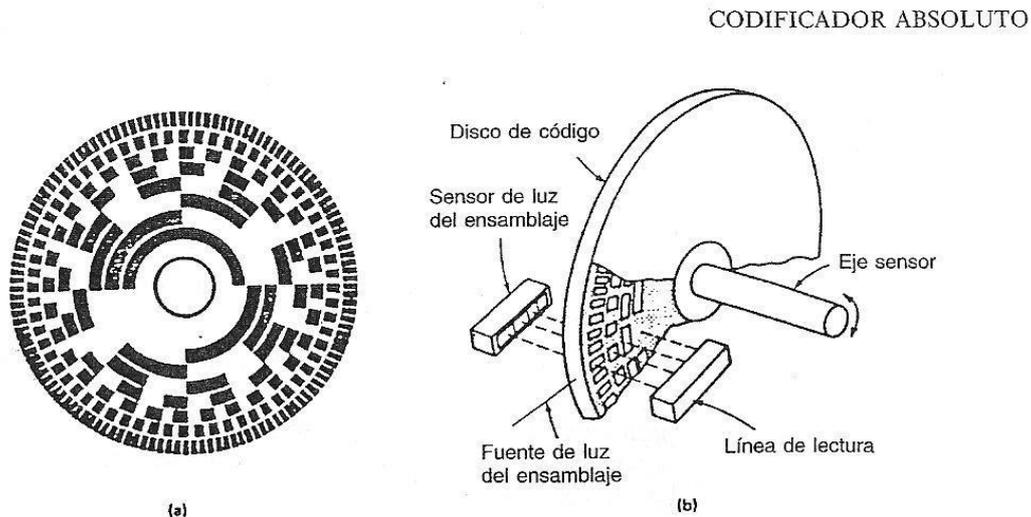
### 9.2.4. Codificador absoluto.

Consiste en un limbo codificado que es leído por unos fotosensores que se mueven con la alidada (dinámico), o que están fijos (estáticos). Las posiciones de claro-oscuro de los sensores proporcionan el código binario que se traduce en valor angular.

El codificador absoluto produce un código digital único para cada ángulo distinto del eje. Este código se puede leer por un dispositivo controlador, tal como un microprocesador, para determinar el ángulo del eje.

Existen distintos tipos de codificadores absolutos utilizados en los teodolitos electrónicos comerciales. Los mismos varían fundamentalmente debido al código empleado y al movimiento de los fotosensores.

- **Codificador absoluto estático:** Realizan una medición estática y directa del ángulo, como en los clásicos. Sobre el círculo de cristal se graba el código binario (0 y 1) que al leerse por fotosensores se determina su lectura, tiene la limitación que para obtener grandes apreciaciones se necesitan limbos muy grandes.



*Codificadores básicos absolutos (fotoeléctrico, angular); (a) disco de código típico; (b) elementos del codificador.*

**Se basan en el principio del Código Binario Simple.** Este código es el usado en informática, y todas las cifras vienen representadas por dos únicos números: **ceros y unos**. Para los transparentes, cuando el rayo es interrumpido por una zona opaca del limbo, se lee un 0, y si lo traspasa y llega al fotodetector se lee un 1. Por tanto al medir un ángulo y estar el lector en una determinada posición sobre el limbo, este registrará una serie de ceros y unos que indican una cifra binaria correspondiente al valor del ángulo. Por ejemplo la cifra binaria del valor 400 es 110010000. Lo que suponen una serie de opacidades y transparencias.

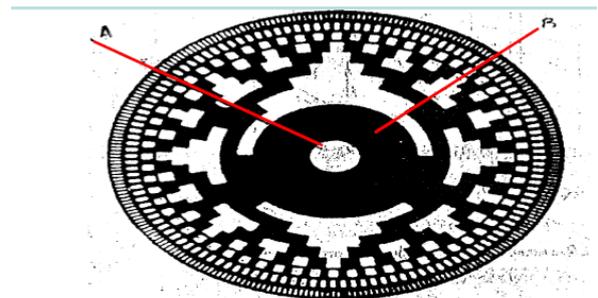


Figura 1. Estructura de un disco absoluto

"A"	Código : 100100011
"B"	Código : 100111111

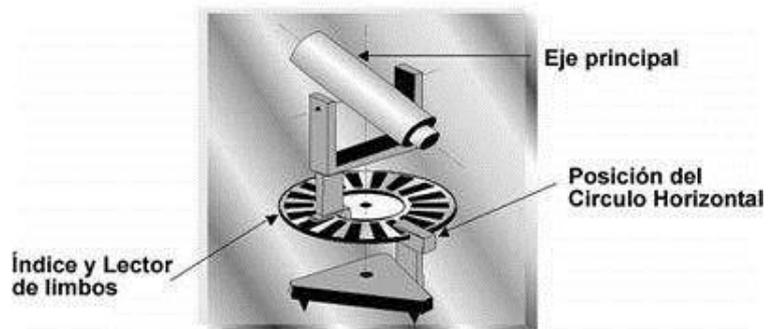
Para aumentar la precisión en la obtención del ángulo, se emplea mayormente el Código de GRAY, muy similar al binario pero de modo que de un número al siguiente sólo varía una cifra.

Éste código elimina errores y minimiza las indeterminaciones. Por ejemplo 30 y 31 tienen en Código de Gray las expresiones: 010001 y 010000 respectivamente.

DECIMAL	BCD	GRAY	EXCESO 3
0	0000	0000	0011
1	0001	0001	0100
2	0010	0011	0101
3	0011	0010	0110
4	0100	0110	0111
5	0101	0111	1000
6	0110	0101	1001
7	0111	0100	1010
8	1000	1100	1011
9	1001	1101	1100

- **Codificador Absoluto Giratorio:** La expresión “giratorio” hace referencia a que, el juego de codificadores (encoders) rotan en forma solidaria con el movimiento de la alidada tomando lecturas sobre el disco.

Una gran variedad de códigos son utilizados por distintas empresas. Un tipo de codificación es por código de barras que da una gran precisión. En este tipo de limbos no se explora un punto sino una región o sector alrededor de éste.



Un ejemplo de este tipo de sistema de medida es la que poseen algunas estaciones totales comerciales que están equipadas con codificadores absolutos fotoeléctricos con la avanzada tecnología digital RAB (Random Bi-directional code) con lectura diametralmente opuesta promediada para mayor precisión y confiabilidad. Es de suma importancia que el instrumento disponga de codificadores

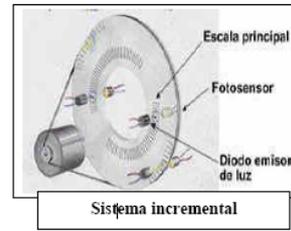


absolutos con detección diametralmente opuesta. Los codificadores absolutos - a diferencia de los incrementales - mantienen la orientación correspondiente al sistema de coordenadas aún pese a rotaciones de la alidada o del anteojo con el equipo apagado y no requieren la realización de indexaciones manuales de los limbos mediante un giro completo de la alidada y del anteojo tras el encendido el instrumento. La detección o lectura diametralmente opuesta compensa errores de excentricidad de los círculos y permite lecturas angulares más precisas y confiables.

### 9.2.5. El sistema de exploración.

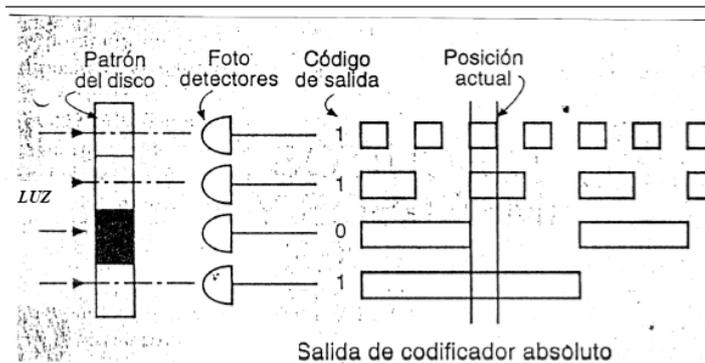
Es el que realiza la medición del ángulo. Sustituye a los índices de los teodolitos óptico-mecánicos clásicos. Se compone de dos elementos fundamentales:

A) **Fuente lumínica:** Es un **LED**, que es un rayo análogo al Láser pero que requiere menor voltaje y es más económico. Es similar al que llevan los lectores de Compact Disc y los punteros para conferencias.



B) **Fotosensor:** En él se detectan la señal o ausencia de ella proveniente de la fuente, y se “lee”, es decir se interpreta de acuerdo a un sistema preestablecido.

Los fotosensores se disponen en distintas partes a lo largo del limbo de modo que cada uno va a cubrir un sector o pista



Los compensadores son automáticos y están sujetos a la acción de la gravedad.

Existen dos modos de funcionamiento de un compensador; por medio de un péndulo, y con un líquido.

El método pendular está basado en la materialización de la vertical (vector gravedad)

con un péndulo conectado a un sistema electromagnético para aumentar su sensibilidad. Sólo pueden trabajar en la dirección longitudinal, es decir en la dirección del punto a medir.

Actualmente no es el método de compensación más extendido por lo que nos vamos a centrar preferentemente en el otro tipo de compensadores, que son los de líquido.

### 9.2.6. Funcionamiento de los compensadores de líquido.

El uso de un líquido que ante una inclinación desvíe un rayo óptico no es nuevo, y ha venido empleándose en los instrumentos opticomecánicos. Pero las estaciones totales incorporan una fuente luminosa especial (**LED**), y un fotosensor que lea la información y la trate digitalmente. Los líquidos pueden trabajar por reflexión o por refracción.

En primer lugar vamos a considerar un cilindro de bases transparentes con una altura menor que el diámetro. Este cilindro va a estar medio lleno de un líquido que suele ser **aceite de silicona**. Si se encuentra en posición horizontal, un rayo que incida perpendicularmente no va a sufrir desviación en su trayectoria al atravesar líquido y cilindro. Esto equivale a una

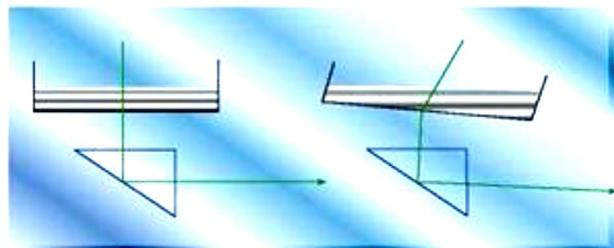
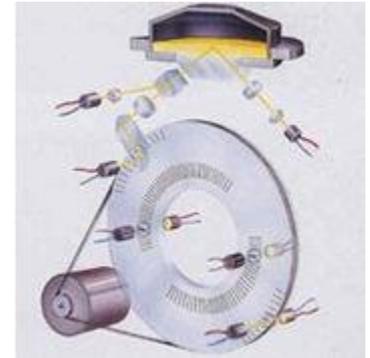
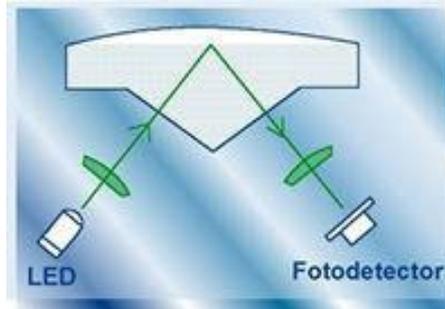


lámina de caras plano-paralelas. Pero si se produce alguna inclinación del cilindro el rayo ya no incidirá perpendicularmente, actuará como cuña óptica y se producirá una desviación. El valor de esta desviación es interpretado, y se corrige automáticamente.

Pero un inconveniente de este sistema es que la base superior del cilindro puede mojarse del líquido, por lo que se modificarían las propiedades de éste. Por este motivo los compensadores más utilizados son los de líquidos reflectantes.

En estos el recipiente tiene una base en forma de "V", de manera que un rayo que entre perpendicularmente por un lateral, incide en el líquido y sufre una reflexión en la superficie saliendo del recipiente también

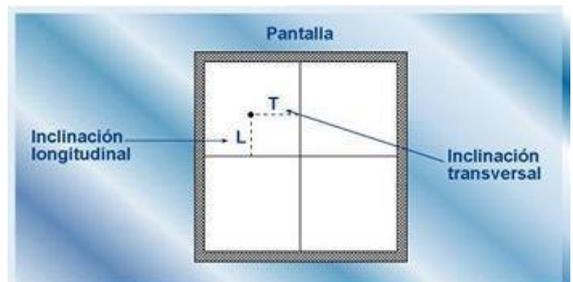


ortogonalmente, donde es recibido por el fotosensor que proyecta este punto en una pantalla similar a las que usan las cámaras de video.

Una inclinación en el conjunto provoca una variación en el punto de proyección y se presenta en pantalla en un sistema de coordenadas cartesianas donde puede ser visualizada la inclinación residual tanto en la dirección longitudinal como en la dirección transversal. Se denominan **compensadores de doble eje**.

- **Mosaico**

Hay tener en cuenta que las inclinaciones en el plano transversal (la dirección del eje de muñones), no sólo afecta a los ángulos horizontales, sino que también, aunque en menor medida, a los verticales. Por ello las estaciones establecen un coeficiente de corrección tras obtener los valores de estas inclinaciones residuales, y lo aplicarán a todos los ángulos que se midan, tanto verticales como horizontales.



Muchas estaciones tienen la posibilidad de **desconectar el compensador**, lo que resulta útil en determinadas condiciones de trabajo donde estemos sometidos a vibraciones u oscilaciones.

Existen otros equipos que aparte de este compensador de doble eje incorporan otro que detecta la falta de **perpendicularidad entre el eje principal y el eje secundario**.

Los compensadores tienen un **rango de trabajo**, por encima del cual aparece un indicador que nos indica que la estación está desnivelada, y que no es posible ser corregida, en ese caso tendremos que mejorar el estacionamiento. Este rango varía de unos equipos a otros pero está en torno a los 3'.

**Cabe describir los teodolitos electrónicos Wild de la casa Leica:**

### 9.2.7. Teodolito electrónico

El **Wild T1000** es un teodolito electrónico con una desviación típica de  $\pm 1$  mgon ( $\pm 3''$ ), especialmente indicado para mediciones catastrales y levantamientos topográficos. Existen dos versiones del T1000: con teclado e indicadores en las dos posiciones del anteojo, o con memoria de datos enchufable en la posición II.

Puede combinarse con cualquier distanciómetro Wild y conectarse a un terminal de datos GRE (colectora o libreta electrónica) o a un computador.

Su teclado codificado en colores hace que sea muy fácil de usar. Los ángulos y la distancia se miden y registran automáticamente sin más que apretar una tecla. Integración opcional de las funciones de cálculo COGO en el T1000. (Prospecto G1 365.)



### 9.2.8. Teodolito universal electrónico de gran precisión

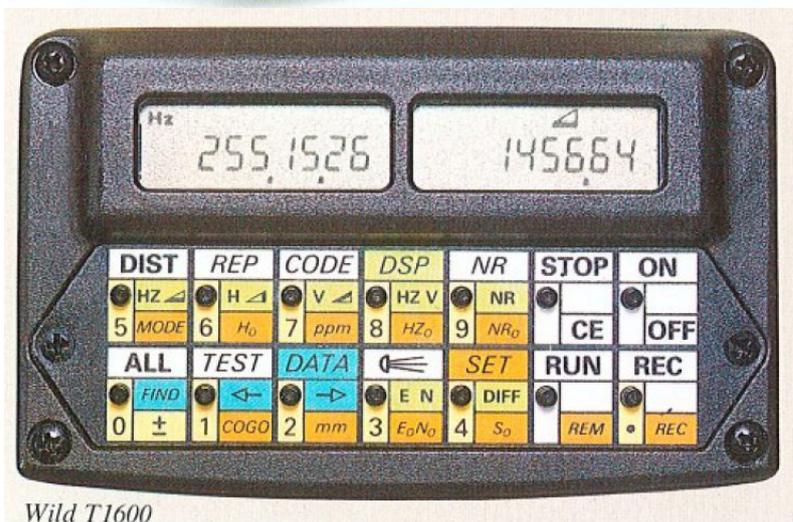
La estructura y el principio de medición del Wild T1600 son los mismos que en el T1000; sin embargo, la medición se realiza con más comodidad y la precisión en la medida de ángulos es mayor. La desviación típica es  $\pm 0,5$  mgon ( $\pm 1,5''$ ).

Existen dos versiones del T1600: con teclado e indicadores en las dos posiciones del anteojo o con teclado e indicadores en la posición I y receptáculo para módulo REC, en la posición II.

El módulo REC es una memoria de datos enchufable,

para registrar aproximadamente 500 bloques de datos. En la versión para módulo REC, las funciones de cálculo COGO integradas en el T1600 permiten realizar diversos cálculos en el campo.

El T1600 combinado con uno de los Wild DISTOMA T constituye un taquímetro electrónico adecuado para poligonación y mediciones para catastro e ingeniería. Es



Wild T1600

posible el intercambio de datos bidireccional entre el instrumento y un terminal de datos GRE o un computador conectado a él.

	T1000	T1600	T2002	T3000
<b>Anteojos</b>	convencional	convencional	convencional	panfocal anteojos de ajuste
Aumento	30 ×	30 ×	32 ×	43 × (enfoque al ∞)
Diám. del campo vis. a 1.000 m	27 m	27 m	27 m	20 m
Distancia mínima de enfoque	1,7 m	1,7 m	1,7 m	0,6 m
<b>Medición del ángulo</b>	continua, codificador final absoluto	continua, codificador final absoluto	codificador final absoluto, sistema de medición dinámico, captación diametral.	
Indicación (mínima unidad)	1 mgon (10 <sup>cc</sup> ), 1", 0,01 mil	0,1 mgon (1 <sup>cc</sup> ), 1", 0,001 mil	0,01 mgon (0,1 <sup>cc</sup> ), 0,1", 0,00001°, 0,0001 ‰	
Tiempo de actualización	0,1–0,3 s para ambos ángulos	0,1–0,3 s para ambos ángulos	0,3 s para ambos ángulos	
<b>Desviación estándar según DIN 18723</b>	Hz: ± 1 mgon (± 10 <sup>cc</sup> ), ± 3 V: ± 1 mgon (± 10 <sup>cc</sup> ), ± 3	Hz: ± 0,5 mgon (± 5 <sup>cc</sup> ); ± 1,5" V: ± 0,5 mgon (± 5 <sup>cc</sup> ); ± 1,5"	Hz: ± 0,15 mgon (± 1,5 <sup>cc</sup> ); ± 0,5" V: ± 0,15 mgon (± 1,5 <sup>cc</sup> ); ± 0,5"	
<b>Índice de alturas automático</b>	Compensador pendular ± 0,1 gon (± 5')	Compensador pendular ± 0,1 gon (± 5')	Comp. por líquido de los 2 ejes 0,055 gon (3') longitudinal y transversal	Datos técnicos como T2002
Margen de centrado	± 0,3 mgon (± 1")	± 0,3 mgon (± 1")	0,03 mgon (0,1")	
<b>Sensibilidad del nivel de alidada</b>	30"/2 mm	30"/2 mm	20"/2 mm	
<b>Indicadores</b>	LCD; 2 indicadores en cada posición del anteojos; con 8 cifras cada uno, más signo precedente. Símbolos para guía.	LCD; 2 indicadores en cada posición del anteojos; con 8 cifras cada uno, más signo precedente. Símbolos para guía.	LCD; 8 cifras con signo precedente 1 indicador de guía alfanumérico 2 indicadores para datos	
<b>Suministro de corriente</b>	12 V, corriente continua	12 V, corriente continua	12 V, corriente continua	
Módulo de batería	GEB77 (0,45 Ah)	GEB77 (0,45 Ah)	GEB68 (2 Ah)	
Baterías externas	GEB70 (2 Ah) GEB71 (7 Ah)	GEB70 (2 Ah) GEB71 (7 Ah)	GEB70 (2 Ah) GEB71 (7 Ah)	
<b>Peso (kg)</b>				
Instrumento	4,5	4,5	7,0	7,5
Estuche	3,9	3,9	5,5	5,5

Teodolito marca **Nikon**, modelo **NE-5**, 30x aumentos, sensibilidad de niveles de alidada 30"/2mm, índice vertical automático, círculos 360° o 400<sup>g</sup>, apreciación 5"



**TEODOLITOS ELECTRÓNICOS TOPCON**

<b>Telescopio</b>	<b>ELT1</b>	<b>DT-05</b>	<b>DT-10SP</b>	<b>DT-20B</b>	<b>DT-30</b>
Longitud	159 mm	149 mm	149 mm	154 mm	140 mm
Apertura	45 mm	45 mm	45 mm	40 mm	35 mm
Aumentos	× 30	× 30	× 30	× 26	× 20
Imagen	Directa	Directa	Directa	Directa	Directa
Foco mínimo	1,3 m	0,9 m	0,9 m	1,0 m	1,0 m
Cte. multiplicación	100	100	100	100	100
<i>Medición angular</i>					
Método	—	Incremental	—	—	—
Diámetro círculo	—	71 mm	—	—	—
Detección	H : 2 V : 1	Unica	Unica	Unica	Unica
Mínima lectura	5 <sup>cc</sup> -10 <sub>cc</sub>	10 <sup>cc</sup> -20 <sub>cc</sub>	20 <sup>cc</sup> -50 <sub>cc</sub>	20 <sup>cc</sup> -50 <sub>cc</sub>	100 <sup>cc</sup>
<i>Sensibilidad de nivel</i>					
Nivel telescopio	30"/2 mm	40"/2 mm	60"/2 mm	60"/2 mm	40"/2 mm
Nivel circular	—	10"/2 mm	—	—	—
<i>Telescopio de plomada óptica</i>					
Imagen	—	Directa	—	—	—
Aumentos	× 3	× 3	× 3	× 2,2	× 2,2
Campo de visión	5°	5°	5°	5°	5°

**TEODOLITOS ELECTRÓNICOS NIKON**

<b>Telescopio</b>	<b>NE-10LA</b>	<b>NE-10L</b>	<b>NE-20S</b>
Aumentos	× 30	× 30	× 26
Imagen	Directa	Directa	Directa
Foco mínimo	0,7 m	0,7 m	1,0 m
Cte. multiplicación	100	100	100
<i>Medición angular</i>			
Método	—	Incremental	—
Diámetro círculo	—	79 mm	—
Mínima lectura	10 <sup>cc</sup>	20 <sup>cc</sup>	60 <sup>cc</sup>
<i>Sensibilidad de nivel</i>			
Nivel telescopio	30"/2 mm	30"/2 mm	40"/2 mm
Nivel circular	—	10"/2 mm	—
Compensador automático	Vertical 3"	No	No
<i>Telescopio de plomada óptica</i>			
Imagen	—	Directa	—
Aumentos	× 3	× 3	× 2,2
Enfoque mínimo	0,5 m	0,5 m	1,3 m

### 9.2.9. Teodolitos motorizados para mediciones automáticas en geodesia de precisión

Los teodolitos Wild TM3000, con accionamiento de los dos ejes y enfoques por motor, están destinados a las mediciones automáticas en geodesia de precisión. Están especialmente indicados en mediciones sin tomar contacto con el objeto y en tareas que requieren valores medidos a intervalos de tiempo regulares.

Los instrumentos se pueden utilizar individualmente o formando parte de un sistema de hasta ocho estaciones (Wild A TMS).

Los campos típicos de aplicación son el control de obras, las mediciones de deformaciones y de desplazamientos de tierras.

Los teodolitos motorizados TM3000 reúnen las mismas características de los teodolitos T3000: precisión elevada, anteojo panfocal, compensador de los dos ejes, etc., y ofrecen una gran precisión en posicionamiento del instrumento ( $< 0,5''$ ) y elevada velocidad de giro (máx.  $50^\circ/\text{seg.}$ ).

Existen tres versiones del TM3000:

- Wild TM3000V, teodolito motorizado de precisión, con cámara de vídeo CCD incorporada, para realizar la puntería de forma automática.
- Wild TM3000D, teodolito motorizado de precisión, con adaptador para un distanciómetro de infrarrojo s Wild DISTOMAT DI1600, DI2002, DI3000 o DIOR3002, para mediciones automatizadas.
- Wild TM3000L, teodolito motorizado de precisión, con conexión para un láser que permite proyectar un rayo láser en el punto visado.

Los TM3000 pueden ser dirigidos a través de una placa de mando, un GRE4 o un computador. Para la conexión a un computador los teodolitos van equipados con una interface RS232 (V24). (Prospecto G 1 388.)



## CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

---

### TM3000V/TM3000D/TM3000L

---

<b>Medición del ángulo</b>	Codificador absoluto, sistema dinámico de medición. captación del ángulo en posiciones del círculo diametralmente opuestas
<b>Desviación típica</b> (según DIN 18723)	Hx y V: 0,15 mgon; 0,5''
<b>Duración de una medición</b> (Hz o V)	0,9 s
<b>Compensador</b> Conectable y desconectable	Compensador por líquido, de los dos ejes
Margen de ajuste, inclinación máxima	0,06 gon; 3,2'
Precisión del ajuste	0,03 mgon; 0,1''
<b>Accionamiento de los ejes vertical y de basculación</b> máxima velocidad de giro	Servomotores con transmisor incremental y captación digital 50°/s (ambos ejes)

---

#### Datos técnicos del TM3000V

<b>Anteojos</b> Componentes	Anteojos, cámara CCD, acoplador óptico, objetivo granangular, dispositivo de enfoque
<b>Dispositivo de enfoque</b>	Servomotor con captación lineal absoluta y regulador digital
Margen de enfoque	0,65 m (desde el eje de basculación) hasta $\infty$
Resolución	2,5 $\mu$ m
<b>Acoplador óptico</b>	Desviación de la trayectoria óptica desde el anteojo a la cámara CCD

#### Cámara CCD

Margen de exploración	8,8 mm $\times$ 6,6 mm (Hz $\times$ V)
Número de puntos imagen (pixel)	500 $\times$ 582 (Hz $\times$ V)

---

#### Datos técnicos del TM3000D

<b>Anteojos</b>	Idéntico al del T3000
Margen de inclinación sin DISTOMAT	Limitado por el interruptor final 49,4 gon a 332,4 gon (44,5° a 229,2°)
con DISTOMAT	49,4 gon a 194,4 gon (44,5° a 175°)
<b>Distomat</b>	DI1600, DI2002, DI3000 y DIOR3002

---

#### Datos técnicos del TM3000L

<b>Anteojos</b> Componentes	Anteojos, acoplamiento para rayo láser con explorador láser integrado, dispositivo de enfoque
<b>Dispositivo de enfoque</b>	Análogo al de TM3000V
<b>Acoplamiento para rayo láser</b> Láser de He-Ne, longitud de onda	0,63 $\mu$ m
Potencia a la salida del anteojo	1 mW (láser clase II, IEC)
<b>Explorador láser</b>	Produce movimientos en círculo del punto láser para reducir el efecto Speckle

---

## CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

	TC1000	TC1600
<b>Medición del ángulo</b>	continua, codificador final absoluto	continua, codificador final absoluto
Indicador (unidad mínima)	1 mgon, 1", 0,01 mil	0,1 mgon, 1", 0,001 mil
Tiempo de actualización	0,1-0,3 s	0,1-0,3 s
<b>Desviación típica</b> según DIN 18723 (Hz/V)	± 1 mgon (± 3")	± 0,5 mgon (± 1,5")
<b>Índice de altura automático</b>	Compensador pendular	Compensador pendular
Margen de centrado	± 0,1 gon (± 5')	± 0,1 gon (5')
Precisión de centrado	± 0,3 mgon (± 1")	± 0,3 mgon (± 1")
<b>Anteojos</b>	convencional	convencional
Aumento	30 ×	30
Diám. del campo visual a 1.000 m	27 m	27 m
Distancia mínima de enfoque	1,7 m	1,7 m
<b>Indicadores</b>	LCD; 2 indicadores en cada posición del anteojo; con 8 cifras cada uno, más signo. Símbolos para guía	LCD; 2 indicadores en cada posición del anteojo; con 8 cifras cada uno, más signo. Símbolos para guía
<b>Medición de distancias</b>	Anteojo coaxial para medición de direcciones y distancias	Anteojo coaxial para medición de direcciones y distancias
<b>Desviación típica</b> Medición estándar	± (3 mm + 2 ppm), tiempo de medición 4 s	± (3 mm + 2 ppm), tiempo de medición 4 s
Medición repetitiva DIL	± (3 mm + 2 ppm), tiempo de medición 3 s	± (3 mm + 2 ppm), tiempo de medición 3 s
Método de seguimiento	± (5 mm + 2 ppm), tiempo de medición 1-2 s	± (5 mm + 2 ppm), tiempo de medición 1-2 s
<b>Alcance*</b>		
con 1 prisma	2,0 km	2,0 km
con 3 prismas	2,8 km	2,8 km
con 11 prismas	4,0 km	4,0 km
<b>Debilitamiento de la señal</b>	automático	automático
<b>Absorción de potencia</b> durante la medición de distancia	aprox. 5 W (0,4 A/12 V)	aprox. 5 W (0,4 A/12 V)
<b>Corrección de escala</b> variación en pasos de:	- 399 ppm a + 399 ppm 1 ppm	- 399 ppm a + 399 ppm 1 ppm
<b>Constante de adición</b> variación en pasos de:	- 99 mm a + 999 mm 1 mm	- 999 mm a + 999 mm 1 mm
<b>2 modelos</b>	Teclado e indicadores en las dos posiciones o bien Teclado e indicadores en posición I y receptáculo módulo REC, en posición II	Teclado e indicadores en las dos posiciones o bien Teclado e indicadores en posición I y receptáculo módulo REC, en posición II
<b>Registro</b>	Módulo REC o GRE4a/GRE4n	Módulo REC o GRE4a GRE4n
<b>Suministro de corriente</b>	12 V, corriente continua	12 V, corriente continua
Módulo de batería	GEB77 (0,45 Ah)	GEB77 (0,45 Ah)
Baterías externas	GEB70 (2 Ah) GEB71 (7 Ah)	GEB70 (2 Ah) GEB71 (7 Ah)
<b>Sensibilidad de los niveles</b>		
Nivel esférico (base niv.)	8"/2 mm	8"/2 mm
Nivel de la alidada	30"/2 mm	30"/2 mm
<b>Pesos (kg)</b>		
Instrumento	5,5	5,5
Estuche	3,9	3,9

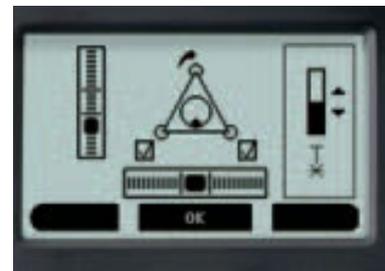
\* En condiciones atmosféricas medias.  
pp = partes por millón.

### 9.2.10. Teodolito electrónico Leica Builder. T100 / T200

Vista amplia y clara de la Pantalla grafica de alta resolución, lectura inmediata y bien visible en cualquier condición de luz. Los ángulos se visualizan hasta 1 mgon o 1".



Sencillo Montaje en estación, la plomada láser y el auxiliar grafico de nivelación hacen muy fácil y cómodo el montaje en estación.



**Compensación Automática**, el compensador de lecturas horizontales y verticales garantiza errores verticales mínimos y proporciona resultados rápidos y precisos.

#### Especificaciones del Builder T100/T200

##### Medición de ángulos

Desviación típica ISO 17123-3

T100 9" (desviación en la dirección 4 mm a 100 m)

T200 6" (desviación en la dirección 3 mm a 100 m)

Compensador electrónico de dos ejes

Rango de trabajo +/-4'

##### Anteojos

Aumento 30 x

Campo visual 2.4 m a 100 m

Distancia de enfoque mín. 1.7 m

##### Visualización en pantalla

Resolución angular hasta 1" (1 mgon)

Pantalla/Teclado 160 x 280 píxeles, alfanumérica

8 x 31 caracteres, opcional en ambos lados

