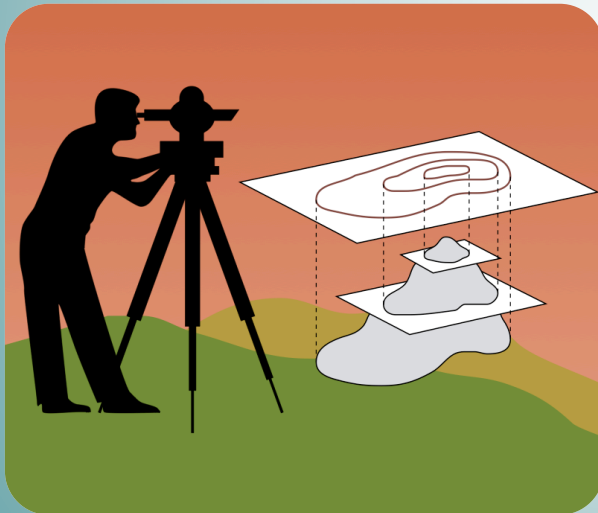


Topografía y Geodesia-G337

Bloque I. Tema 2. Captura y tratamiento del observable angular



Javier Sánchez Espeso

Raúl Pereda García

DPTO. DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA
Y TÉCNICAS DE EXPRESIÓN GRÁFICA

Este tema se publica bajo Licencia:

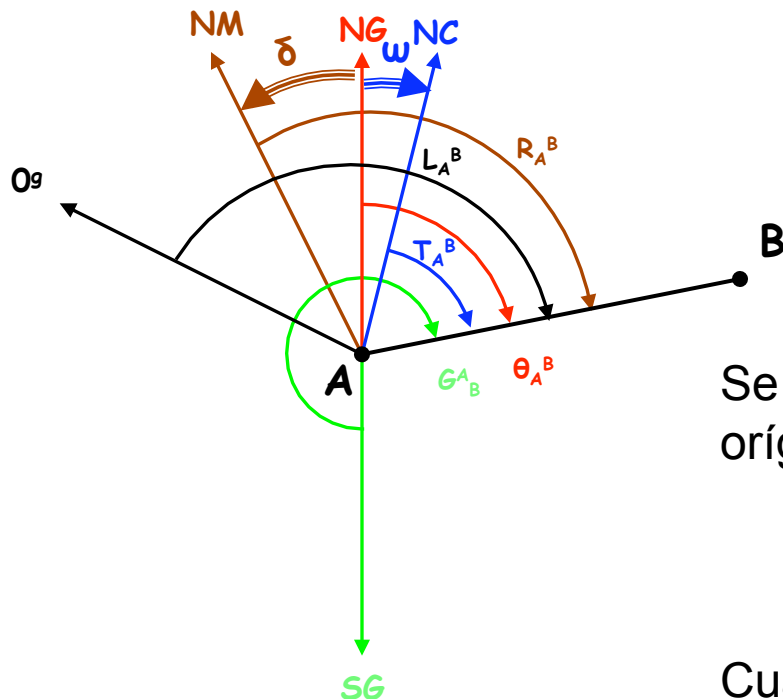
[Creative Commons BY-NC-ND 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)



1.- Tipos de ángulos

▶ ANGULOS EN EL PLANO HORIZONTAL

Reciben diferentes denominaciones en función del origen angular:



1.- ACIMUT GEODÉSICO (G_A^B)

2.- ACIMUT TOPOGRÁFICO (θ_A^B)

3.- RUMBO (R_A^B)

4.- ORIENTACIÓN (T_A^B)

Se relacionan a partir de los ángulos entre los orígenes angulares:

δ DECLINACIÓN MAGNÉTICA

ω CONVERGENCIA DE MERIDIANO

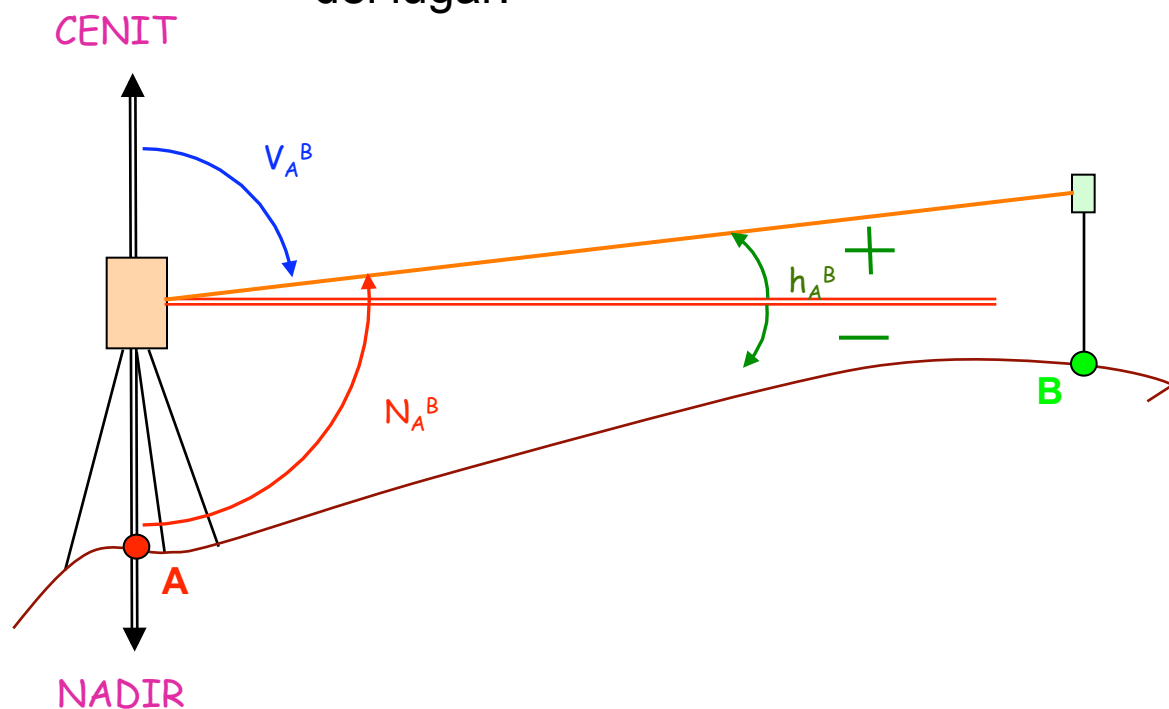
Cuando el origen angular es arbitrario:

5.- LECTURA (L_A^B)

1.- Tipos de ángulos

▶ ANGULOS EN EL PLANO VERTICAL:

Reciben diferentes denominaciones en función del origen angular aunque, en este caso, éste queda definido a partir de la vertical del lugar:



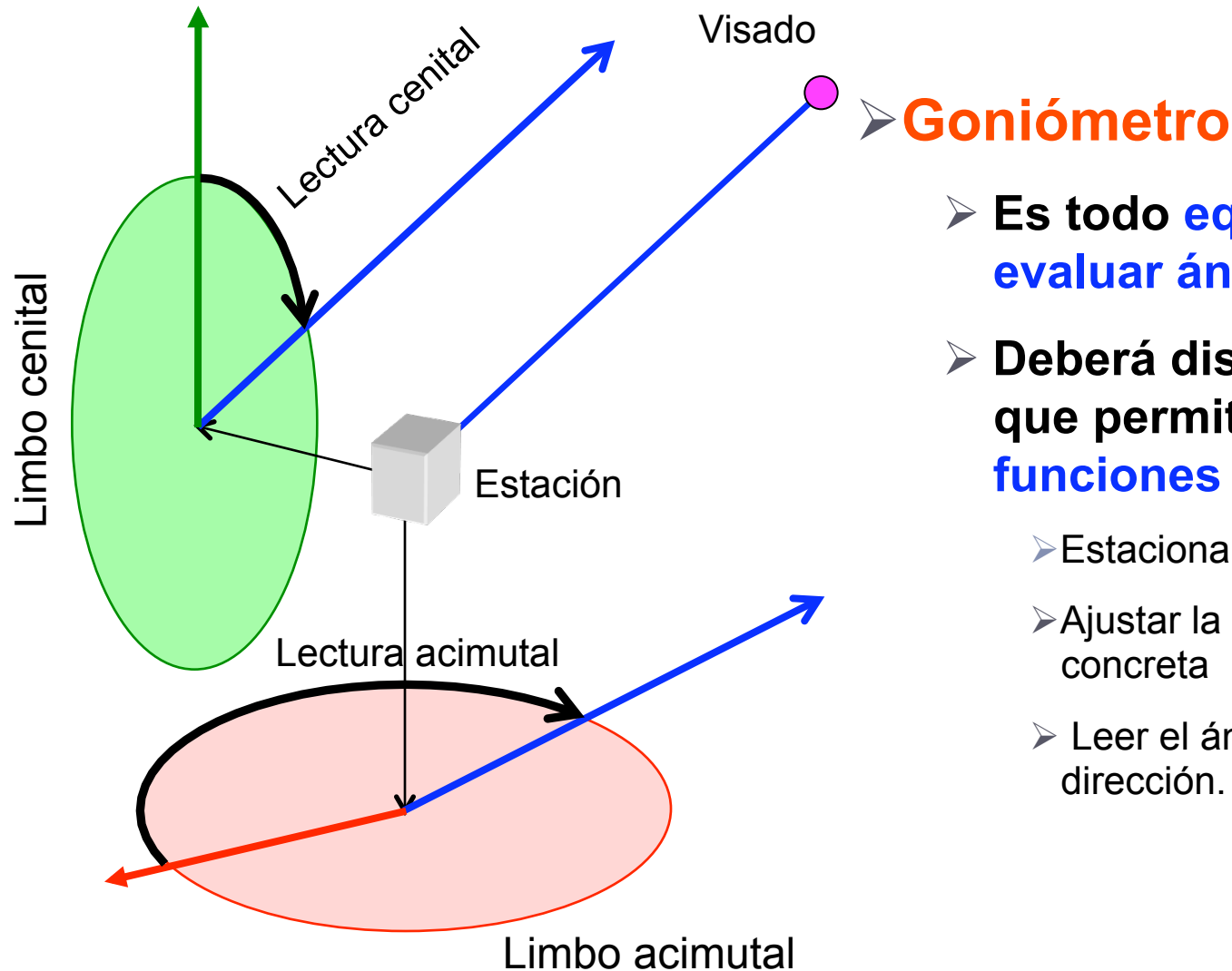
1.- ÁNGULO CENITAL (V_A^B)

2.- ÁNGULO NADIRAL (N_A^B)

3.- ALTURA (h_A^B)



2.- El Goniómetro



- Es todo **equipo capaz de evaluar ángulos.**
- Deberá disponer de elementos que permitan desarrollar las **funciones básicas:**
 - Estacionar
 - Ajustar la referencia en una dirección concreta
 - Leer el ángulo para cualquier dirección.

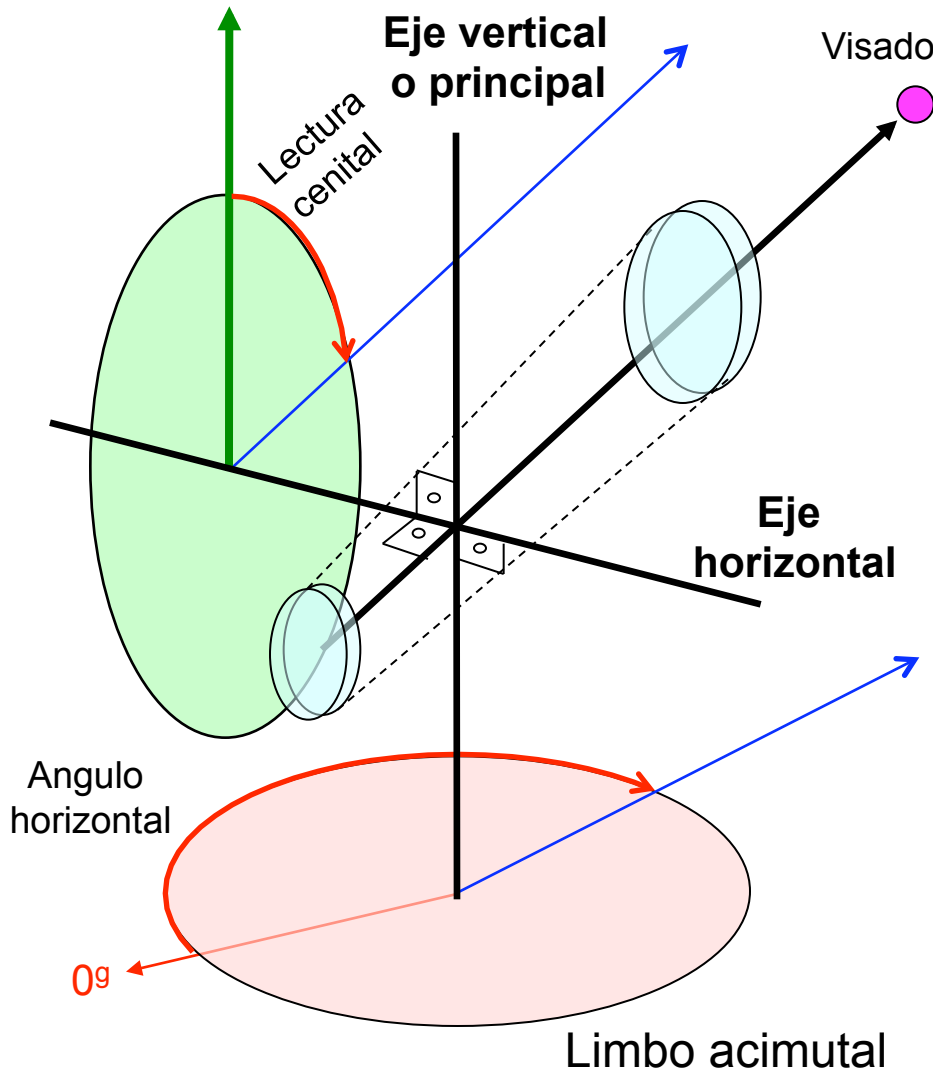
2.- El Goniómetro

➤ Según la capacidad para medir ángulos se **clasifican** en:

- **Acimutal**: sólo es capaz de medir ángulos en el plano horizontal. Por ejemplo la brújula.
- **Eclímetro**: sólo es capaz de medir ángulos en el plano vertical expresándolos en notación angular convencional
- **Clisímetro**: sólo es capaz de medir ángulos en el plano vertical expresándolos en tanto por cien.
- **Completo**: capaz de medir ángulos en el plano horizontal y vertical. Por ejemplo el **teodolito**.



2.- El Goniómetro



➤ **Consta de 3 partes organizadas entorno a 3 ejes:**

➤ **Eje principal o vertical:**

Se utiliza para estacionar

➤ **Eje horizontal, secundario o de muñones:**

En él se determina la altura del instrumento

➤ **Eje de colimación, de observación o de visión:**

Define la visual.



2.- El Goniómetro

Las tres partes, que se articulan alrededor de los 3 ejes descritos son:



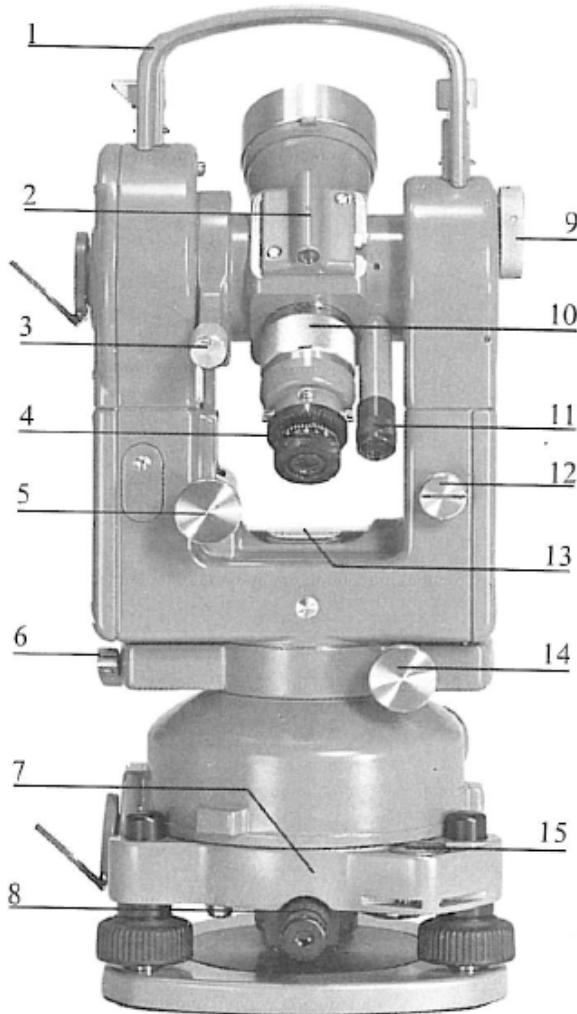
Alidada: elemento móvil que arrastra al anteojo. Gira alrededor del eje vertical.

Anteojo o colimador: permite efectuar la puntería. Gira alrededor del eje secundario.

Limbos: discos graduados en los que se efectúan las lecturas.,



3.- El Teodolito. Partes esenciales



1-> Asa

2-> Visor puntería grosera

3/5 -> Tornillos mov. Vertical

4-> Ocular anteojo, enfoque cruz filar

6/14-> Tornillos mov. Acimutal

7-> Base nivelante

8-> Plomada óptica

9-> Tornillo micrómetro

10-> Anillo enfoque anteojo

11-> Microscopio de lectura

13-> Nivel tórico, en la alidada

15-> Nivel esférico, en base nivelante



3.- El Teodolito. Algunos equipos



3.- El Teodolito. Algunos equipos



El aparato se sujeta a una **base nivelante** que permite hacer coincidir el eje principal con la vertical del lugar del punto donde se desea **estacionar**.



3.- El Teodolito. Movimientos

Se deben conocer e identificar los **movimientos de que dispone un teodolito**, que se permiten / bloquean con sus correspondientes tornillos de presión / coincidencia:

- ▶ **Movimiento general** (mov. Horizontal): permite el movimiento del limbo acimutal alrededor del eje vertical, independientemente del anteojo. Empleado para orientar acimutalmente el teodolito. [*Exclusivo teodolito óptico*].
- ▶ **Movimiento de la Alidada** (mov. Horizontal): permite el movimiento de la alidada horizontal alrededor del eje vertical. Empleado para obtener lecturas acimutales.
- ▶ **Movimiento del eclímetro** o aliada cenital: permite el movimiento del anteojo alrededor del eje horizontal. Permite obtener lecturas verticales.



3.- El Teodolito. Movimientos

Los movimientos permiten efectuar las lecturas angulares:

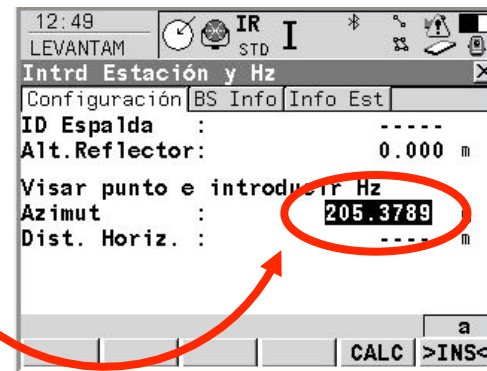
- ▶ **Leer ángulos horizontales.**

- ▶ Movimiento general fijo, al liberar el movimiento de la alidada acimutal el giro del anteojo permite efectuar lecturas de ángulos horizontales.

- ▶ **Orientar** (acimutalmente) el teodolito.

- ▶ Hoy día esta operación se hace a partir de una opción presente en el propio teodolito

Haciendo puntería en una dirección concreta se puede establecer el ángulo horizontal deseado



- ▶ **Leer ángulos verticales.**

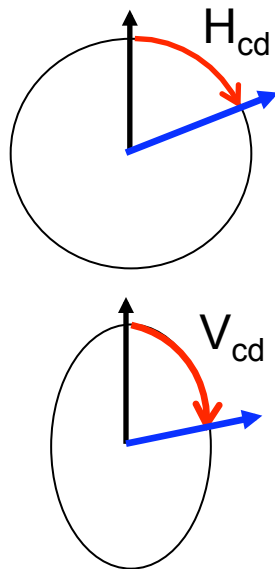
- ▶ Se libera el movimiento del eclímetro, girando el anteojo alrededor del eje horizontal, hasta hacer puntería en la dirección deseada

3.- El Teodolito. Movimientos

Una práctica de observación habitual, para mejorar punterías precisas:
lectura en CD y CI, vuelta de campana o Bessel.

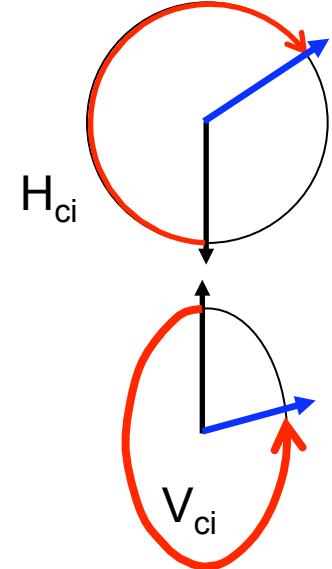
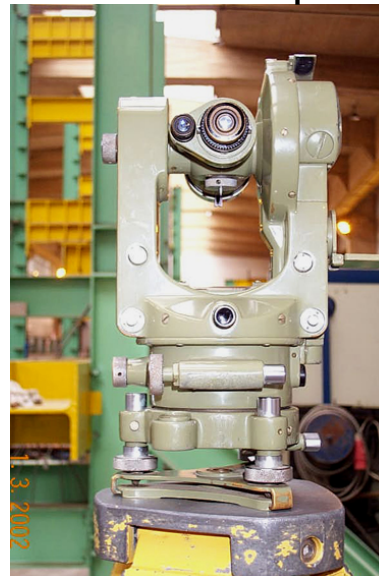
- Se efectúa una doble observación, en **circulo directo (CD)** y en **circulo inverso (CI)**. Se “promedian” ambas, quedándose con la lectura corregida.

1.- **Observación en CD**: microscopio de lectura a la derecha del anteojo



$$H_{cd} = 50,1020^{\text{gr}}, V_{cd} = 90,0050^{\text{gr}}$$

2.- **Observación en CI**: microscopio de lectura a la izquierda del anteojo



$$H_{ci} = 250,1030^{\text{gr}}, V_{ci} = 309,9970^{\text{gr}}$$

3.- El Teodolito. Movimientos

Horizontales: el Cd y el Ci se diferencian en 200^{gr}.

Cenitales, el Cd y el Ci suman 400^{gr} (supuestos los ángulos en centesimales).

Promedio del ángulo acimutal (centesimales):

• Expresión:

$$H_{prom} = \frac{H_{cd} + (H_{ci} \pm 200^{gr})}{2}$$

Para el ejemplo anterior: **H_{prom}** = 50,1025^{gr}

Promedio del ángulo cenital (centesimales):

• Expresión:

$$V_{prom} = \frac{V_{cd} + 400 - V_{ci}}{2}$$

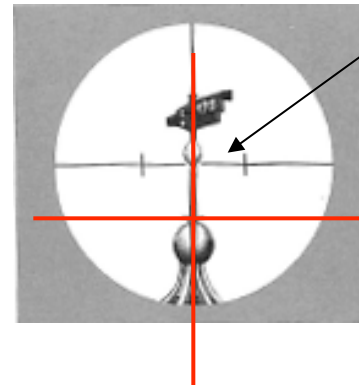
Para el ejemplo anterior:

V_{prom} = 90,0040^{gr}



3.- El Teodolito. Utilización

- ▶ **Puesta en estación (o estacionar).**

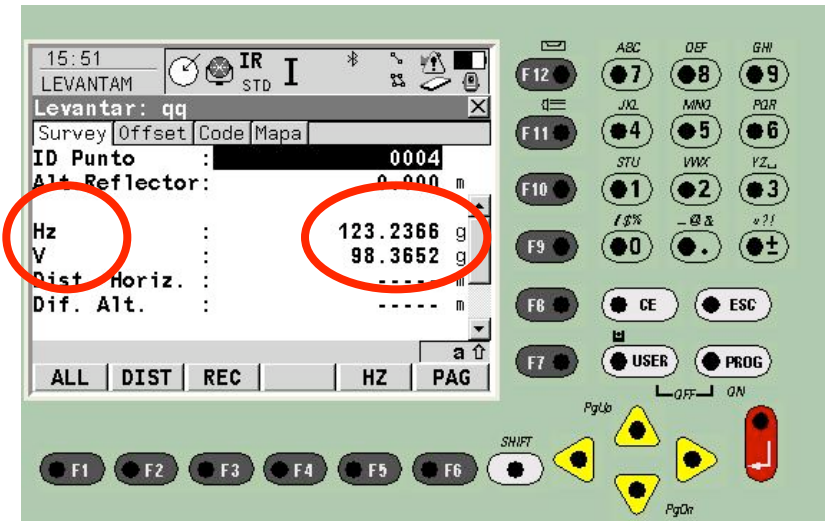


Cruz filar

- ▶ **Puntería.**

- ▶ **Leer ángulos.**

- ▶ Se obtienen directamente en el teodolito (electrónico).

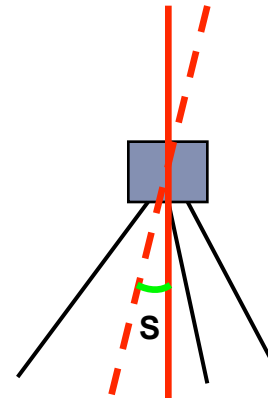
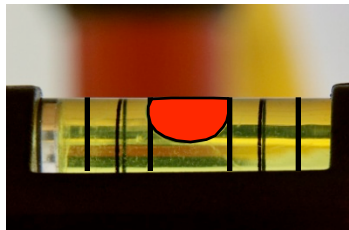


3.- El Teodolito. Parámetros representativos.

Se usan tres valores, esquemáticamente (S,A,a).

➤ **Sensibilidad** del nivel (S^{cc}, S'')

- ▶ Refleja la coincidencia del eje vertical del aparato con la vertical del lugar.
- ▶ Expresa la desviación del eje principal de aparato de la vertical del lugar cuando la burbuja tórica se mueve una división.



➤ **Aumentos** del anteojo (A)

➤ **Apreciación** (a^{cc}, a'')

- ▶ Incertidumbre en la obtención de la lectura angular

Ejemplo: ($30^{cc}, 28,6^{cc}$), en segundos centesimales, equivalente a ($10'', 28,2''$) en segundos sexagesimales.

Recordatorio:

$$1 \text{ radian} = 636620^{cc} = 206265''$$

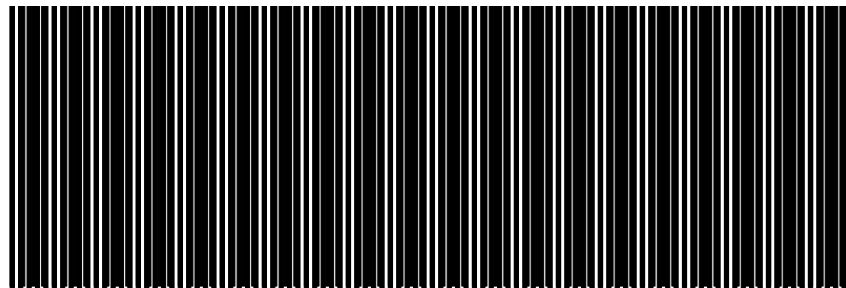


3.- El Teodolito. Teodolito electrónico.

TEODOLITO ELECTRÓNICO

- Aparece en la década 60, los precios competitivos en los 80.
- Precisión parecida a los teodolitos ópticos.
- El esquema funcional coincide con el teodolito óptico, salvo la lectura angular que se hace electrónicamente.
- Los limbos no están grabados mecánicamente sino de alguna forma que permiten el paso de luz de forma diferencial con el objetivo de analizar el Angulo en función de la luz que pase hasta el foto detector. Esta señal, codificada, es susceptible de ser almacenada.

Efecto Muaré



3.- El Teodolito. Teodolito electrónico.

- ▶ Destacar como **mejoras generalizadas**:
 - ▶ Mejores **S** y **a**.
 - ▶ Empleo de niveles digitales.
 - ▶ Compensador del ángulo cenital con detección de la inclinación del equipo.
 - ▶ Correcciones automáticas a las lecturas, por doble lectura.
 - ▶ Registro automático de las observaciones.
 - ▶ Uso de plomada láser.

- ▶ Se ampliará al estudiar las Estaciones Totales Topográficas.

- ▶ Gammas características:
 - ▶ Precisión angular usual: (3^{cc} , 6^{cc} , 9^{cc} , 15^{cc}), equivalente a ($1''$, $2''$, $3''$, $5''$).
 - ▶ Precisión angular especial: (2^{cc} , 1^{cc}), equivalente a ($0,7''$, $0.3''$).
 - ▶ Sensibilidad del nivel: 6^{cc} , equivalente a $2''$.



3.- El Teodolito. Teodolito electrónico.

- Ejemplo: características **Leica TS02/06/09**:

Sensibilidad (S); Aumentos (A); Apreciación (a)



Medición de Angulos (Hz, V)		
Precisión (Desviación estándar ISO17123-3)	3" (1 mgon), 5" (1.5 mgon), 7" (2 mgon)	Optional
Método	Absoluto, continuo, diametral	
Resolución en pantalla	0.1" / 0.1 mgon / 0.01 mil	
Compensación	Compensador de cuádruple eje centralizado (Desactivable)	
Precisión de compensador	1", 1.5", 2"	
Anteojo		
Aumento	30 x	
Resolución	3"	
Campo de visión	1° 30' (1.66 gon) / 2.7 m a 100 m	
Rango de enfoque	1.7 m a infinito	
Retículo	Iluminado, 5 niveles de brillo	



4.- Errores en la medida angular.

TIPOS DE ERRORES:

➤ **GROSEROS:**

- Suelen representar variaciones significativas frente al valor real. Básicamente son equivocaciones y, por lo tanto, evitables mediante controles y verificaciones.

➤ **SISTEMÁTICOS:**

- Se presentan al realizar una medida y proceden de una causa permanente que obliga a cometerlo siguiendo una tendencia marcada. Son evitables con una metodología adecuada

➤ **ACCIDENTALES:**

- Dependen de los sentidos del operador, de las condiciones ambientales, siendo variables en magnitud y sentido. Son inevitables y acotables, procediéndose a su estudio.

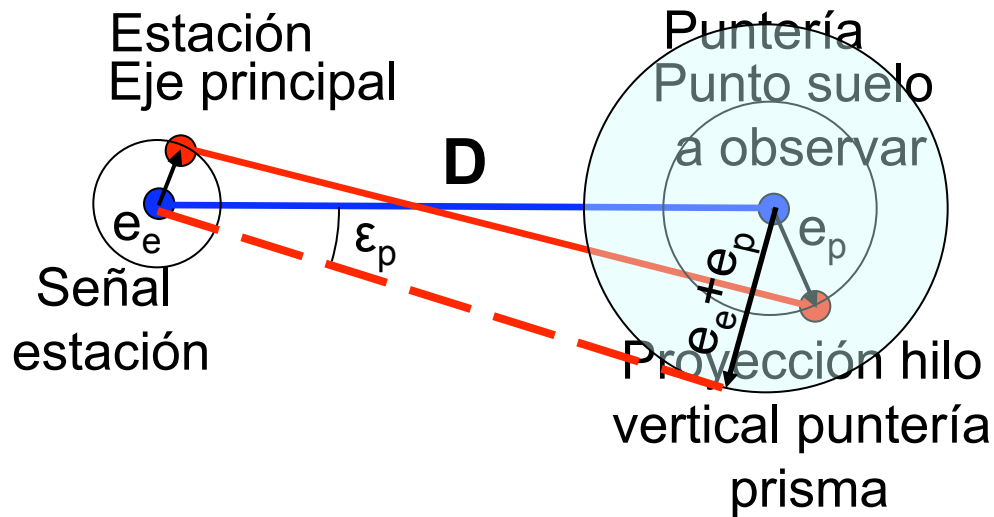


4.- Errores en la medida angular.

- ▶ **Dependientes de las características del equipo**, afectando a las observaciones tanto del ángulo horizontal como del vertical:
 - ▶ **Error de verticalidad:** ϵ_v .
 - ▶ Relacionado con la **S** del equipo, acota la incertidumbre asociada a la falta de coincidencia del eje principal con la vertical del lugar.
 - ▶ **Error de puntería:** ϵ_p .
 - ▶ Relacionado con los **A** del equipo, acota la incertidumbre asociada al superponer la cruz filar al objeto visado.
 - ▶ **Error de lectura:** ϵ_l .
 - ▶ Relacionado con la **a** del equipo.
- ▶ **Independiente de las características del equipo**, influye solo en la observación del ángulo horizontal:
 - ▶ **Error de dirección.** ϵ_d .
 - ▶ Depende de la bondad de los estacionamientos en el equipo / puntería, así como de la distancia entre ambos.



4.- Errores en la medida angular.



$$e_e + e_p = \epsilon_p(\text{rad}) \cdot D$$

$$\epsilon_p(\text{rad}) = (e_e + e_p) / D$$

$$\epsilon_p(^{\circ}) = \epsilon_p(\text{rad}) \cdot 636620$$

$$\epsilon_p(") = \epsilon_p(\text{rad}) \cdot 206265$$

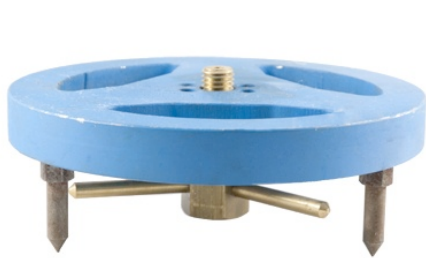


4.- Errores en la medida angular.

► Formas de minimizar el error de dirección. E_d

► Minimizando el error en el estacionamiento: e_e

- Mediante un sistema de centrado forzoso



► Minimizando el error en la puntería: e_p

- Mediante un sistema de centrado forzoso
- Mediante un trípode para jalón



4.- Errores en la medida angular.

► Errores acimutales.

ERROR VERTICAL	ERROR DE DIRECCIÓN	ERROR DE PUNTERÍA	ERROR DE LECTURA
$\varepsilon_v = \frac{S}{12}$	$\varepsilon_d = \frac{e_e + e_p}{D} \cdot \beta$ $e_e + e_p = 0 - 5cm$ $\beta = 636620^{cc} / 206265''$	$\varepsilon_p = \frac{C_A}{A} \cdot K$ $C_A = 10'' / 30^{cc}$ $K = 2,2 \text{..} 2,5$	$\varepsilon_l = \frac{a}{\sqrt{3}}$
ERROR TOTAL HORIZONTAL			
$\varepsilon_H^T = \sqrt{\varepsilon_v^2 + \varepsilon_d^2 + \varepsilon_p^2 + \varepsilon_l^2}$			

$e_e + e_p = 0$ con centrado forzoso

$e_e + e_p = 1cm$ en poligonales

$e_e + e_p = 2cm$ en radiaciones



4.- Errores en la medida angular.

► Errores cenitales.

ERROR VERTICAL	ERROR DE PUNTERÍA	ERROR DE LECTURA
$\varepsilon_v = \frac{S}{3}$	$\varepsilon_p = \frac{C_A}{A} \cdot K$ $C_A = 50''/150^{cc} \quad K = 2,2..2,5$	$\varepsilon_l = \frac{a}{\sqrt{3}}$
ERROR TOTAL CENITAL		
$\varepsilon_V^T = \sqrt{\varepsilon_v^2 + \varepsilon_p^2 + \varepsilon_l^2}$		



4.- Errores en la medida angular.

► Formas de minimizar el error angular.

Es habitual la necesidad de realizar punterías precisas, con mejor precisión que una observación aislada. Típicamente se efectúa la repetición de la observación, “*con matices*”.

El procedimiento normal es efectuar una **doble puntería**, por el procedimiento de la **vuelta de campana o regla de Bessel (CD y CI)**:

- Observar que los **errores de verticalidad y dirección no se mejoran**.
- Tan solo se mejoran los errores de observación: **puntería y lectura**. Al observar 2 veces, se tiene:

$$\varepsilon_H^T = \sqrt{\varepsilon_v^2 + \varepsilon_d^2 + \left(\frac{\varepsilon_p}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{\varepsilon_l}{\sqrt{2}}\right)^2}$$

$$\varepsilon_V^T = \sqrt{\varepsilon_v^2 + \left(\frac{\varepsilon_p}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{\varepsilon_l}{\sqrt{2}}\right)^2}$$

No tiene sentido observar **más de 2 ó 3 series**. Si se quiere aumentar la precisión, es **mejor volver a estacionar de nuevo** y efectuar nuevas series de punterías que continuar en la misma serie con más observaciones.

