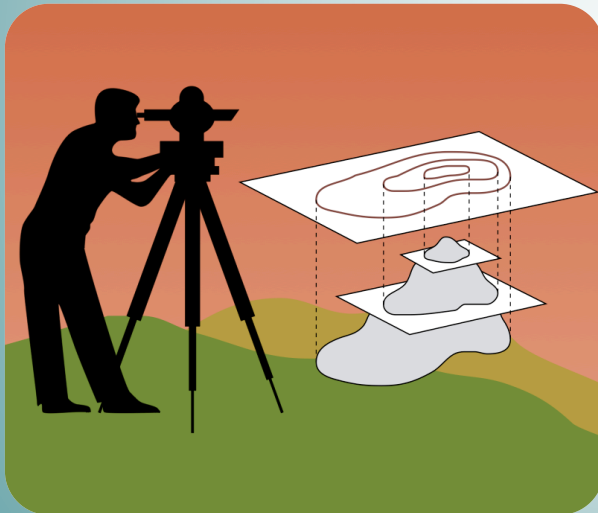


Topografía y Geodesia-G337

Bloque I. Tema 2.

Captura y tratamiento del observable distancia



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.- Introducción. Medida directa de distancias

▶ **Medida directa de distancias.**

- ▶ La medida de una distancia de forma directa consiste en la comparación de la distancia a evaluar con otra longitud tomada como patrón.
- ▶ Uso habitual, en trabajos topográficos:
 - ▶ Medidas rápidas, sin exigencias de precisión
 - ▶ Medidas muy precisas (obsoleto)
- ▶ Se define $e_{\text{relativo}} = e_{\text{absoluto total}} / D_{\text{total}}$



1.- Introducción. Medida directa de distancias

▶ **Medida directa de distancias. Sistemas de medida**

- ▶ Cinta normal (fibra) o rodetes.
- ▶ CINTA METÁLICA. $e_r=1/2000$.
 - ▶ De una longitud de 25 o 50 m, precisa numerosas correcciones en la medida: nivelación, alineación, catenaria, térmica.
- ▶ REGLAS Y REGLONES. Regla bimetálica, 4 m. $e_r=1/10000$ (de platino).
 - ▶ España, medición base fundamental RGN. 14,5 km, 26 personas, 120 m/h, $e_r=1/2200000$. Error de 2.508mm
- ▶ HILOS INVAR. $e_r=1/25000$ a $1/50000$.
 - ▶ Hilos de 24 m, sobre trípodes.
 - ▶ Necesidad de correcciones: nivelación, alineación, inclinación, catenaria, térmica, elasticidad.



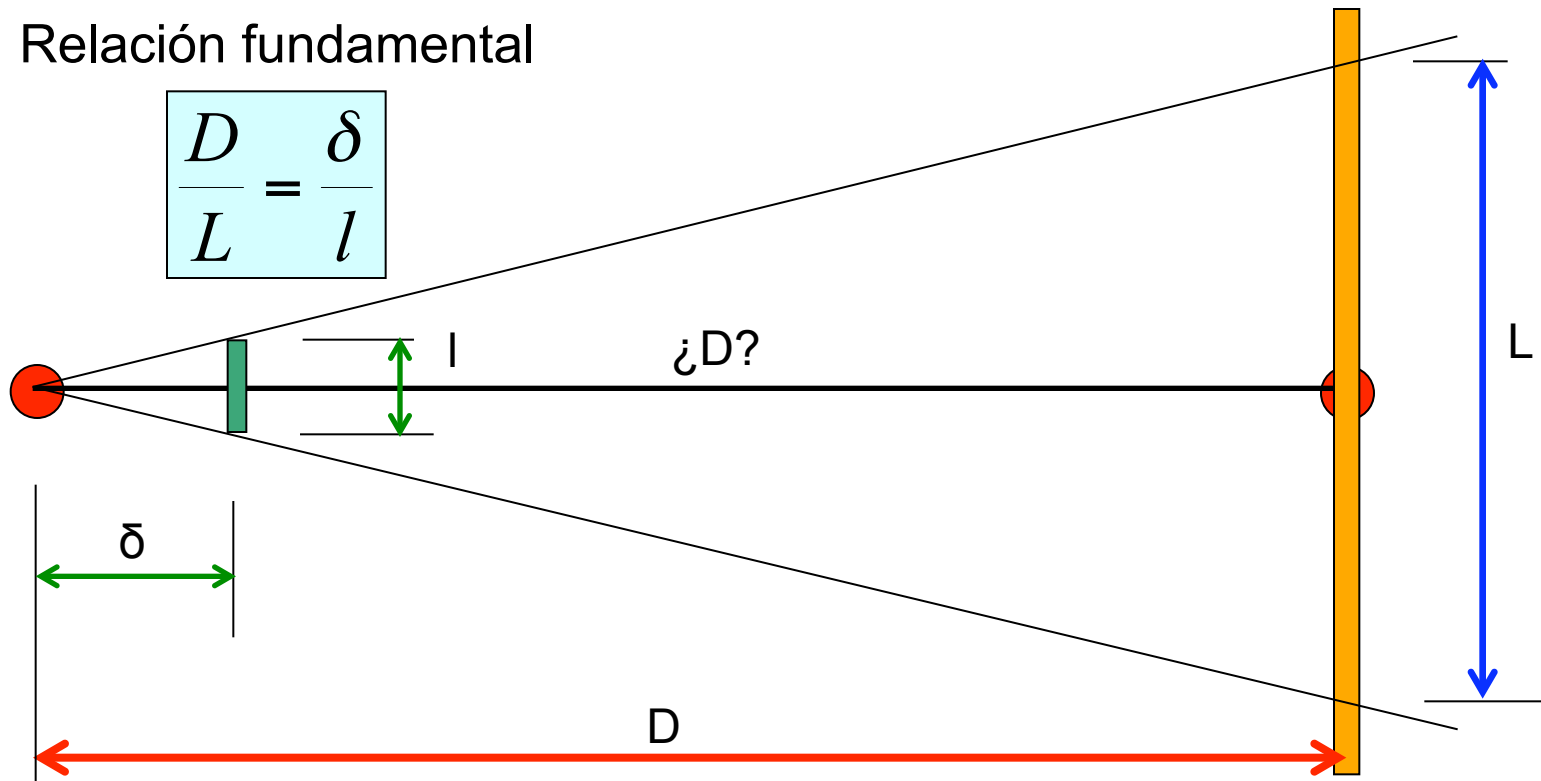
1.- Introducción. Medida indirecta de distancias. Métodos estadimétricos.

► Medida indirecta de distancias por métodos estadimétricos

una distancia se puede obtener como la proporción entre una distancia conocida y su proyección en una estadía o regla.

Relación fundamental

$$\frac{D}{L} = \frac{\delta}{l}$$



1.- Introducción. Medida indirecta de distancias. Métodos estadimétricos.

► Medida indirecta de distancias por métodos estadimétricos

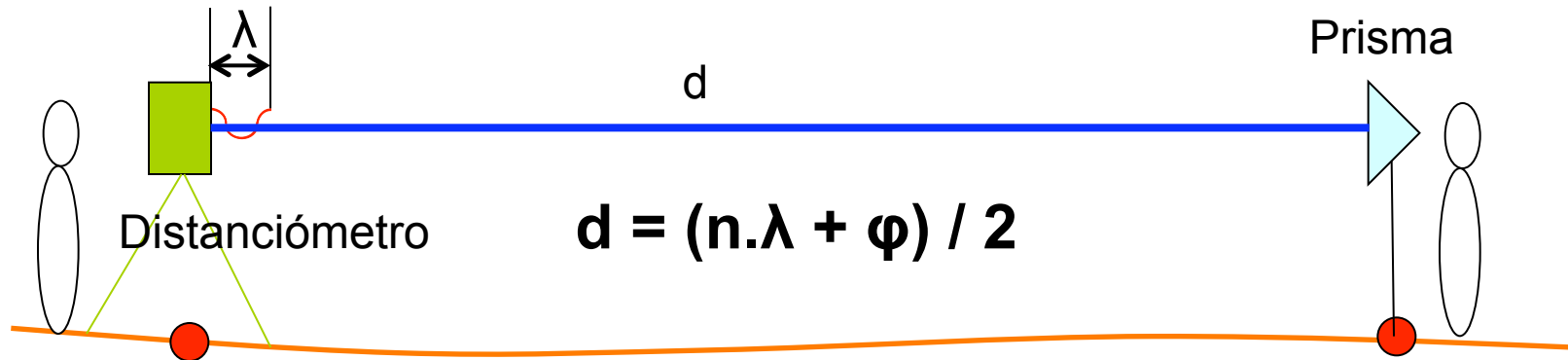
- En la relación anterior, según se consideren constantes o variables los elementos participantes, se tiene los estadímetros de 1ª, 2ª y 3ª categoría.
- Quizá el aparato más característico de la medida estadimétrica de distancias sea el **taquímetro**, un estadímetro de 1ª categoría donde δ/l es constante.
 - Relación básica: $D=k.L$, k: constante estadimétrica.
- Orden de magnitud del error cometido con un taquímetro, en una observación de D m, distancia reducida (para 1 tramo):

$$e_d = \frac{0.30}{100} \cdot D$$

- Para una mira de 4m y k=100, la distancia máxima a observar con un tramo es de 400m con un error de 1.2m
- Permitía la determinación espacial (X,Y,Z) del punto medido según se estudiará más adelante



2.- Medida indirecta: medida por métodos electromagnéticos.



- ▶ Procedimiento sencillo y preciso para la medida de distancias.
- ▶ Distanciometría electrónica → Ha supuesto una revolución en la Topografía y la Geodesia. Actualmente, se prefieren los métodos basados en distancias frente a los que emplean los ángulos.
- ▶ Tipos de instrumentos, según el tipo de onda de la portadora:
 - ▶ **Electromagnéticos:**
 - ▶ Como portadora usan microondas, con longitudes de onda (λ) entre 1 cm y 1m. Se denominan telurómetros.
 - ▶ **Electroópticos:**
 - ▶ Como portadora usan ondas en el espectro de la luz visible, con longitudes de onda entre 0.4 μm y 1.2 μm .
 - ▶ Uso de ondas en las frecuencias del láser o infrarrojo; denominados respectivamente geodímetro y distanciómetro.

2.- Medida indirecta: electromagnéticos.

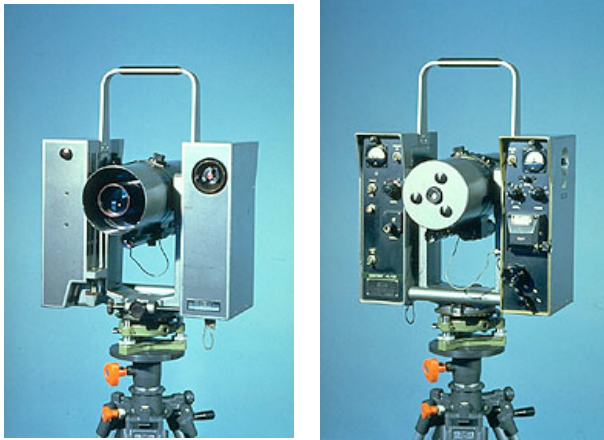


Equipo electromagnético, características básicas:

- ▶ Se usan 2 equipos idénticos, denominados **master** y **remote**, en ambos extremos. (No se emplea prisma).
- ▶ La longitud de onda empleada pertenece al rango de las **microondas**.
- ▶ Se precisan **2 operadores entrenados**, uno en cada equipo.
- ▶ Se permite **comunicación por voz**, usando la misma portadora que la empleada para medir las distancias.
- ▶ Desde el master se efectúa la puntería al remote de forma aproximada.
- ▶ Se puede medir de tanto de **día como de noche**, incluso con lluvia o niebla.
- ▶ **Distancias máximas**: hasta 60 km.
- ▶ **Precisiones**: $5 \text{ cm} \pm 5 \text{ mm/km}$



2.- Medida indirecta: electroópticos.



Geodímetro:

- ▶ Para distancias < 5 km, diodos de AsGa, infrarrojo.
- ▶ Para distancias < 60 km, láser de helio-neón.

Distanciómetro:

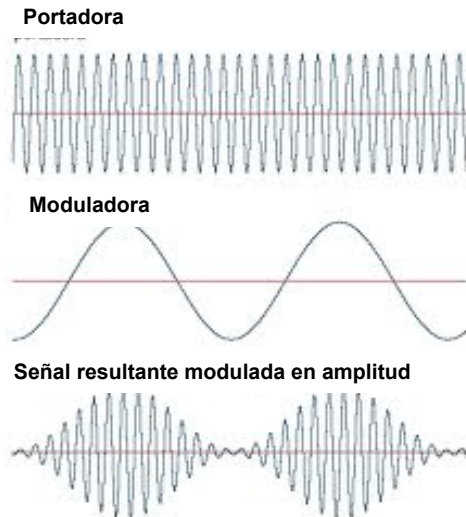
- ▶ Equipos “baratos”, uso habitual en la actualidad.
- ▶ Empleo de 2 fuentes emisoras:
 - ▶ Infrarrojo ($\lambda=0,9 \mu\text{m}$), rango de distancias usual, sobre los 5 km.
 - ▶ Láser, tienen menor potencia, $d<500$ m, pero no precisan un prisma como reflector (pueden llegar a un alcance de 1000m).



2.- Medida indirecta: electroópticos.

Particularidades de la medida de distancia

- ▶ Para la medida de la distancia se utilizan dos ondas:
 - ▶ Portadora: es la encargada de recorrer la distancia a evaluar. Alta frecuencia: menos dispersión y menor energía
 - ▶ Moduladora: es la onda con la que se mide “medidora”.
- ▶ En los distanciómetros es habitual la modulación por amplitud



Medida de distancia

- ▶ La medida de distancia se efectúa:

$$D = \frac{(n \cdot \lambda + \varphi)}{2}$$

- ▶ Se controla la frecuencia (f):

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

2.- Medida indirecta: electroópticos.

Errores en la medida de distancia:

Se consideran 2 aspectos:

1. **Fuentes de error.** Identifican y cuantifican errores cuyo origen es conocido, y del cual se debe corregir la distancia observada (*). Pueden ser de 2 tipos:
 - ▶ **Errores proporcionales a la distancia (E.P.D)**
 - ▶ **Índice de refracción (*).**
 - ▶ Frecuencia de modulación.
 - ▶ **Errores no proporcionales a la distancia (E.N.P.D)**
 - ▶ **Constante de equipo (*).**
 - ▶ Error cíclico.
2. **Precisión en la medida.** Acota la precisión de las distancias observadas, corregidos los errores enumerados en el apartado anterior.
 - ▶ **Expresión de la precisión:** Para una distancia D , se obtiene como la suma de una parte fija y otra variable.



2.- Medida indirecta: electroópticos.

Índice de refracción

Conceptos previos:

► **Velocidad de una onda depende del medio atravesado:**

- En el vacío, $v_0 = c = 299792,5 \text{ km/sg.}$
- En cualquier otro Medio: $v_m < c$
- Se define, **índice de refracción** en un medio: $n_m = c/v_m (>1).$
- Si **v** varia, según condiciones ambientales, la **λ** varia según la relación: $\lambda = \frac{v}{f}$
 por tanto, ¿Cómo pueden medir los distanciómetros, que precisan conocer la λ de la portadora?

Ejemplo de la variación en la medida de 1000 m., expresada en mm, según variaciones en las condiciones de temperatura, presión o humedad (expresada como presión vapor agua)

	Variación	Microondas	Infrarrojo
Temp.	+1°C	-1,25	-1,0
Presión	+1 mm Hg	+0,4	+0,4
Humedad (p.v.a)	+ 1 mm Hg	+7 a 20°C	-0,05

- La influencia de los factores meteorológicos es, aproximadamente:
 - 50 la variación de humedad, 400 la variación de presión y 1000 la variación de temperatura



2.- Medida indirecta: electroópticos.

Índice de refracción

Procedimiento operativo de obtención y corrección de la distancia:

1. **Todos los equipos observan una distancia de “referencia”.**
 - Los fabricantes de distanciómetros, en sus equipos, fijan unas condiciones de referencia meteorológicas “estándar” (t_0, p_0) , en las que se puede determinar una distancia de referencia D_{ref} , independiente de las condiciones reales de la medida.
 - $(t_0, p_0) \Rightarrow n_r \Rightarrow V_r = V_0 / n_r \Rightarrow \lambda_0 \Rightarrow \mathbf{D_{ref}}$
2. El usuario del equipo, en el momento de la observación **observa los valores meteorológicos reales y corrige la distancia anterior.** Por tanto:
 - ▶ Distanciómetro: mide D_{ref} .
 - ▶ Condiciones ambientales momento: (t_m, p_m)
 - ▶ Se desea obtener: $\mathbf{D_{med}}$
 - ▶
$$\frac{D_{ref}}{D_{med}} = \frac{v_{ref}}{v_{med}} = \frac{c / n_r(t_0, p_0)}{c / n_m(t_m, p_m)} = \frac{n_m}{n_r} \Rightarrow D_{med} = D_{ref} \cdot \frac{n_r(t_0, p_0)}{n_m(t_m, p_m)}$$
 - ▶ La corrección necesaria la suministra el fabricante.



2.- Medida indirecta: electroópticos.

Índice de refracción

A: equipo europeo, tipo “Leica”

Ejemplo: Se observa una distancia $D=2000$ m, observada sin corrección alguna (equipo ppm=0).

Ej 1:

$p=1020$ mb, $t=10^{\circ}\text{C}$.

$P_{\text{pm}} = -4$

$D_c = 1999,992\text{m}$

Ej 2:

$p=900$ mb, $t=30^{\circ}\text{C}$.

$P_{\text{pm}} = +46$

$D_c = 2000,092\text{m}$

Resultado que proporciona la tabla: P_{pm} , o partes por millón, ($1/1000000$), o mm/km.



2.- Medida indirecta: electroópticos.

Índice de refracción

A: equipo europeo, tipo "Leica"

Introducción de los datos en la estación total, para corrección por parte del distanciómetro directamente en la distancia observada:

Ej 1:

p=1020 mb, t=10°C.

17:13	IR	STD	I	Bluetooth	GPS	Compass
CONFIGURE						
TPS Corrections						
AtmosPPM	GeomPPM	Refraction				
Temperature	:	10.0 °C				
Atm Pressure	:	1020.0 mbar				
Rel Humidity	:	60.0 %				
Atmospheric ppm:		-3.9				

Ej 2:

p=900 mb, t=30°C.

17:15	IR	STD	I	Bluetooth	GPS	Compass
CONFIGURE						
TPS Corrections						
AtmosPPM	GeomPPM	Refraction				
Temperature	:	30.0 °C				
Atm Pressure	:	900.0 mbar				
Rel Humidity	:	60.0 %				
Atmospheric ppm:		47.2				

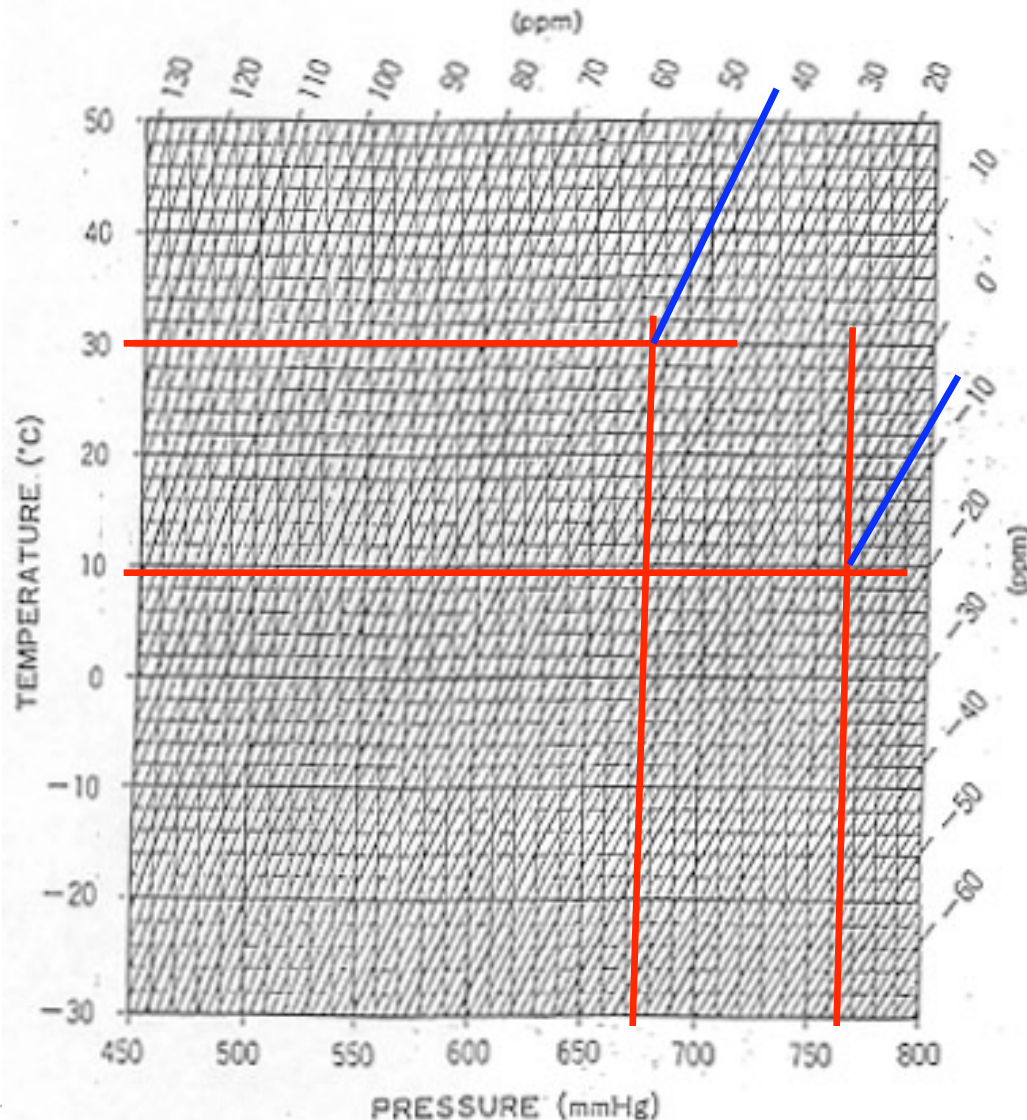
					a ↑
CONT		P<>E	%<>T'	PPM=0	PAGE

					a ↑
CONT		P<>E	%<>T'	PPM=0	PAGE



2.- Medida indirecta: electroópticos.

Índice de refracción



Ejemplo: Se observa una $D=2000,006$ m, sin corrección alguna. (equipo ppm=0).

Ej 1:
 $p=1020$ mb (765 mmHg), $t=10^{\circ}\text{C}$.

$P_{\text{ppm}} = -7$

$D_c = 1999,992\text{m}$

Ej 2:
 $p=900$ mb (675 mmHg), $t=30^{\circ}\text{C}$.

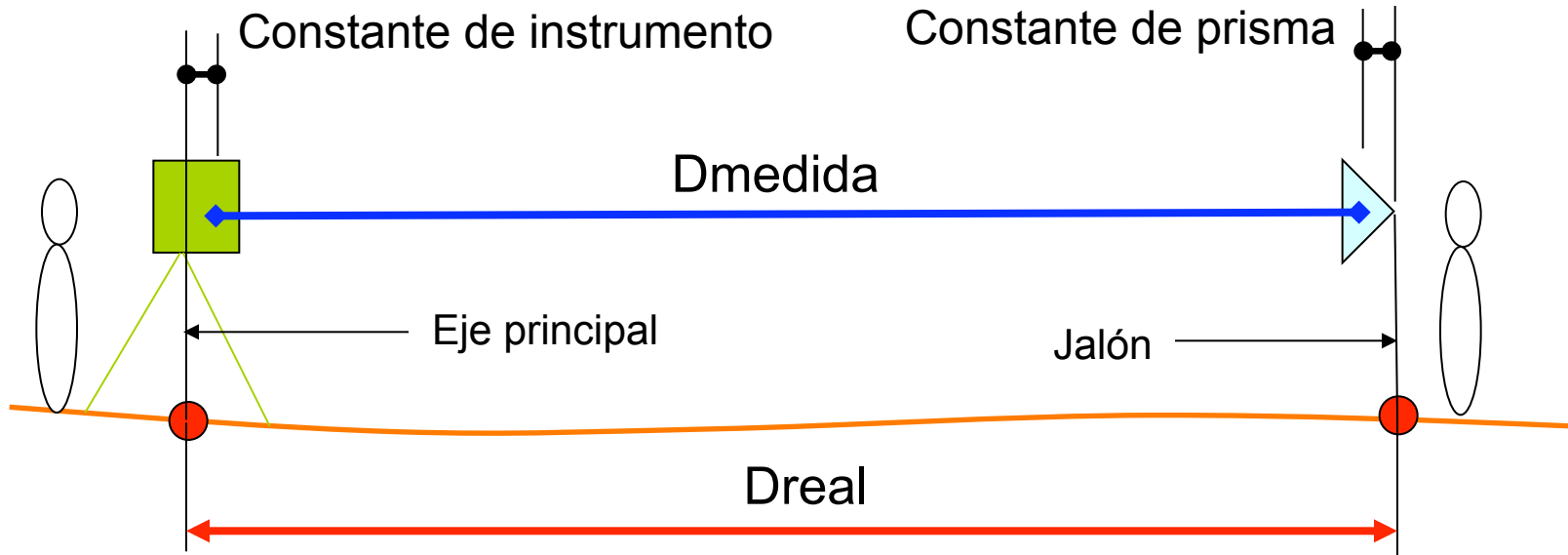
$P_{\text{ppm}} = +43$

$D_c = 2000,092\text{m}$

(1013 mbar = 760 mmHg)

2.- Medida indirecta: electroópticos.

Constante de equipo



► Constante de equipo:

- Es característica del tándem distanciómetro – prisma que se emplea.
- Se define como la diferencia entre la distancia real a medir y la que separa los centros de los elementos participantes, engloba a la constante del instrumento y del prisma.
- $C_{equipo} = C_{instrumento} + C_{prisma}$
- Es habitual que para un equipo de un mismo fabricante, tome valor nulo (supone que ambos elementos están compensados)

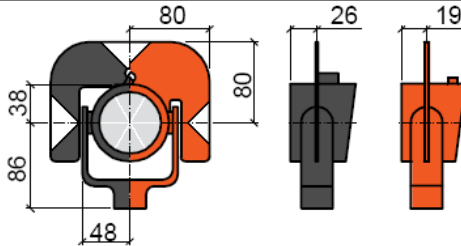
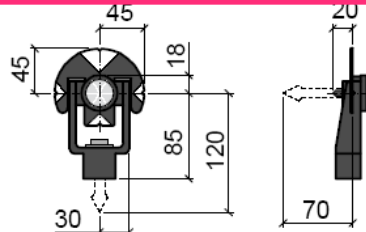
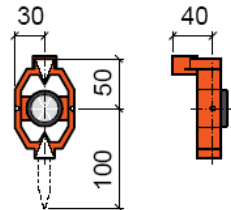
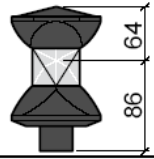
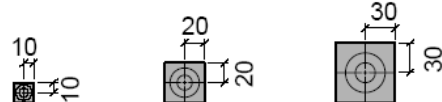
2.- Medida indirecta: electroópticos.

Constante de equipo

A.- Para un equipo de un mismo fabricante:

constante de adición
a la constante de
equipo por defecto
(**constante de
adición 0**)

Ejemplo: Una E.T.
Leica con un prisma de
Leica (mismo
fabricante)

LEICA Prisms	Constants [mm]	
Circular prism GPR121/111	0.0	
Miniprism GMP101/102	+17.5	
Miniprism GMP111* GMP111-0**	+17.5 0.0	
360° prism GRZ4	+23.1	
Reflective tape	+34.4	

2.- Medida indirecta: electroópticos.

Constante de equipo

B.- Combinación de E.T. y prisma de distinto fabricante.

Ej: uso de una ET Leica modelo TPS1200 con un prisma No de Leica (distinto fabricante).

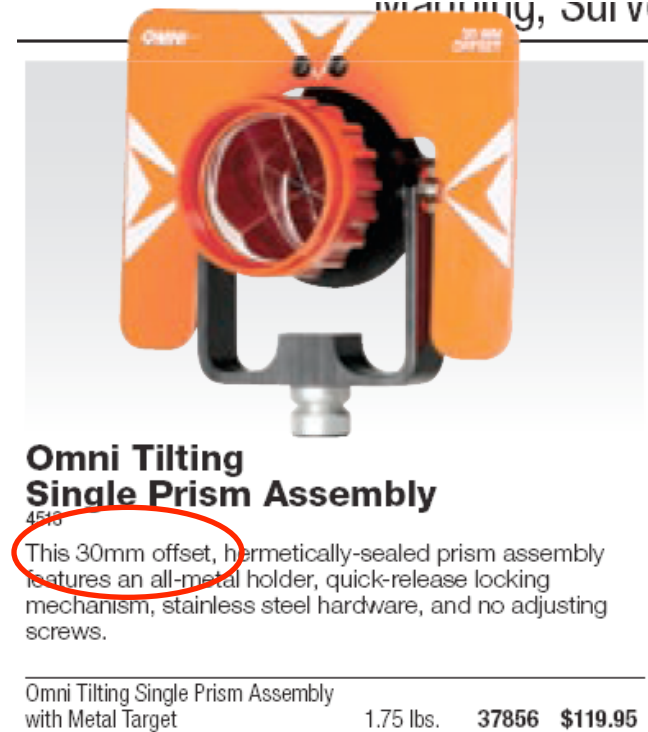
La velocidad de la onda dentro del prisma, de vidrio, es menor y por ello la distancia calculada es mayor que la real.

Así el punto teórico de medida estará retrasado una cierta cantidad, que en el caso de Leica son 34.4mm, incluida en la constante de equipo.

En el caso de utilizar otro prisma se dará el retraso de este teórico punto de medida (offset del prisma), y habrá que tener en cuenta una constata de adición:

Constante de adición: 34.4mm-offset

Ejemplo: 34.4 mm-30mm = **4.4 mm**



<http://www.leicaadvantage.com/support/TPS1200/faqs/TPS/prism.pdf>

http://www.leica-geosystems.es/es/Minireflectores_84906.htm

2.- Medida indirecta: electroópticos.

Constante de equipo

B.- Combinación de E.T. y prisma de distinto fabricante.

Ej: uso de una ET Leica modelo TPS1200 con un prisma No de Leica (distinto fabricante).

Determinada la constante de adicción, se debe corregir la distancia observada directamente por el distanciómetro:

- En gabinete
- Directamente, en el equipo (TPS1200, en el ejemplo).



2.- Medida indirecta: electroópticos.

Precisión de la medida

Acota la precisión de las medidas, supuesto que se hayan corregido los errores propios de la instrumentación.

- ▶ Se expresa como **suma de dos términos**: $f(\text{mm}) + v(\text{ppm})$
 - ▶ **Parte fija (f)**, o “bajada de bandera”: se produce siempre, para cualquier distancia observada.
 - ▶ **Parte proporcional a la distancia medida (v)**, expresada habitualmente como mm/km o ppm (partes por millón).
- ▶ **Gamas características**:
 - ▶ Equipos “viejos”:
 - ▶ 10 mm + 5 ppm
 - ▶ Equipos actuales:
 - ▶ 3 mm + 3 ppm
 - ▶ 2 mm + 2 ppm
 - ▶ Equipos especiales:
 - ▶ 1 mm + 1mm o incluso mejores

Precisión (Desviación Estándar ISO 17123-4) / Tiempo medición	
Modo Preciso:	0.6 mm + 1 ppm / típica 7 s ¹⁾
Modo normal:	1 mm + 1 ppm / típica 2.4 s
Modo rápido:	3 mm + 1 ppm / típica 0.8 s
Modo seguimiento:	3 mm + 1 ppm / típica < 0.15 s
Modo promedio:	1 mm + 1 ppm
Resolución en pantalla:	0.1 mm

Características del distanciómetro de la ET Leica TM30



2.- Medida indirecta: electroópticos.

Precisión de la medida



Medición de distancias

Precisión

Modo prisma

Estándar $\pm(3 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}) \pm(0,01 \text{ pies} + 2 \text{ ppm})^1$,
 $\pm(3 \text{ mm} + 3 \text{ ppm}) \pm(0,01 \text{ pies} + 3 \text{ ppm})^2$,
 $\pm 5 \text{ mm} (\pm 0,016 \text{ pies})$ para menos de 10 m (32,8 pies) con miniprismas
 Rastreo $\pm(10 \text{ mm} + 5 \text{ ppm}), \pm(0,033 \text{ pies} + 5 \text{ ppm})$

Cinta reflexiva

Estándar $\pm(3 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}) \pm(0,01 \text{ pies} + 2 \text{ ppm})^1$,
 $\pm(3 \text{ mm} + 3 \text{ ppm}) \pm(0,01 \text{ pies} + 3 \text{ ppm})^2$,
 $\pm 5 \text{ mm} (\pm 0,016 \text{ pies})$ para menos de 5 m (16.4 pies)
 con lámina reflexiva
 Rastreo $\pm(10 \text{ mm} + 5 \text{ ppm}), \pm(0,033 \text{ pies} + 5 \text{ ppm})$

Trimble M3

Leica serie TPS800

Medición de distancias con prisma (IR)

Alcance de medición con prisma circular GPR1	3500 m
Medición con dianas reflectantes (60 mm x 60 mm)	250 m
Desviación típica (ISO 17123-4) (Preciso/Rápido/Tracking)	2 mm + 2 ppm/5 mm + 2 ppm/5 mm + 2 ppm
Tiempo para una medición (Preciso/Rápido/Tracking)	< 1 seg/< 0.5 seg/< 0.15 seg



Distanciómetro (Prisma)

Alcance	Prisma circular (GPR1)	3500 m
Precisión ²⁾ / Tiempo de medición	Preciso ^{3,4)}	0,6 mm + 1 ppm / tip. 7s
	Estándar	1 mm + 1 ppm / tip. 2,4 s
Método	Análisis basado en mediciones de desplazamiento de fase (coaxial, láser rojo visible)	

Distanciómetro (Sin prisma)

Alcance ⁵⁾	1000 m
Precisión ^{2,6)} / Tiempo de medición	2 mm + 2 ppm / típ. 3 s
Método	Análisis basado en mediciones de desplazamiento de fase (coaxial, láser rojo visible)

Leica TM30



2.- Medida indirecta: electroópticos.

Precisión en la medida. Resumen de conceptos

1. **Errores en la observación** de distancias: se debe corregir la distancia observada por fuentes de error conocidas.
 - ▶ Condiciones meteorológicas, se corrige el índice de refracción. Por ej:
 $\text{ppm} = +24 \text{ ppm}$.
 - ▶ Modificación de constante del equipo, por mezcla de componentes en el equipo. **Por ejemplo: + 30mm**
2. **Precisión en la medida.** Acota la distancia observada.
 - Para un equipo, por ejemplo: 2 mm + 2 ppm.

Aplicación para una distancia observada, por ej. $D_{\text{observada}} = 2690,518 \text{ m}$

1.- Corrección de errores conocidos:

Refracción: $2690,518 * 0,000024 = 0,064 \text{ m}$

$D_{\text{corregida}} = 2690,518 + 0,064 + 0,030 = 2690,612 \text{ m}$

2.- **Precisión de la medida:** $2 \text{ mm} + 2 * 2,690 = 7,4 \text{ mm}$.

Por tanto: $2690,612 \pm 0.007 \text{ m}$

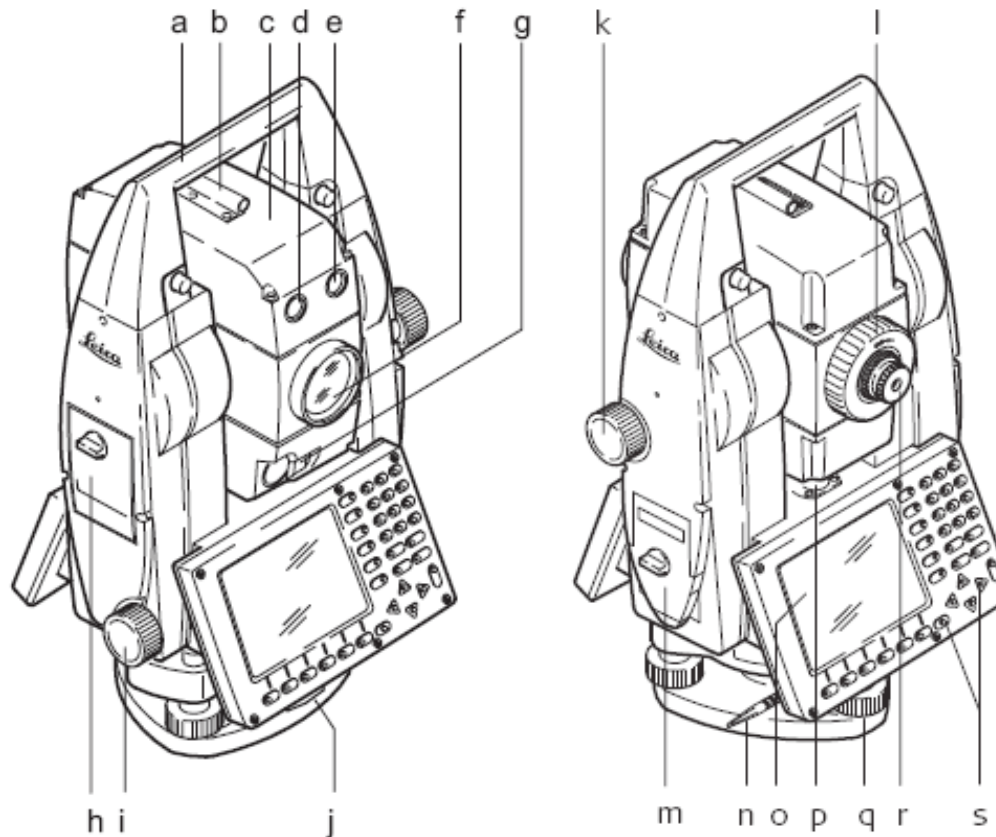


3.- ESTACIÓN TOPOGRÁFICA TOTAL.

- ▶ Se denomina **Estación Topográfica Total**, o taquímetro electrónico, al equipo que combina un **teodolito electrónico y un distanciómetro**.
- ▶ Una ETT posibilita, **con una única puntería, posicionar el punto visado en el espacio respecto a la estación**, al ser capaz de obtener y registrar los 3 observables básicos: distancia geométrica, ángulo horizontal y ángulo vertical.
- ▶ Permite en consecuencia la determinación de los datos básicos para el cálculo de coordenadas: distancia reducida, acimut y desnivel, para cada punto visado.
- ▶ Históricamente, ha evolucionado en tres etapas:
 - ▶ **Equipo excéntrico**. Uso de los 2 equipos individuales: distanciómetro y un teodolito electrónico.
 - ▶ **Tándem vertical**: el distanciómetro se “acopla” al teodolito electrónico.
 - ▶ **Equipo unitario**.
 - ▶ **Semiestación**: teodolito óptico y distanciómetro.
 - ▶ **Estación Topográfica Total** (ETT): teodolito electrónico y distanciómetro.



3.- ESTACIÓN TOPOGRÁFICA TOTAL.



Leica, TPS 1200

- a) Asa de transporte
- b) Dispositivo de puntería
- c) Anteojo, integra el EDM, ATR, EGL, PS
- d) EGL: diodo intermitente - amarillo
- e) EGL: diodo intermitente - rojo
- f) Óptica coaxial para medición de ángulos y distancias, y orificio de salida del láser visible, para instrumentos que miden sin reflector
- g) PowerSearch
- h) Compartimento para la tarjeta CompactFlash
- i) Tornillo para movimiento horizontal
- j) Tornillo de fijación de la base nivelante
- k) Tornillo para movimiento vertical
- l) Anillo de enfoque
- m) Compartimento de batería
- n) Lápiz para la pantalla táctil
- o) Pantalla
- p) Nivel esférico
- q) Tornillo nivelante de la base
- r) Ocular intercambiable
- s) Teclado

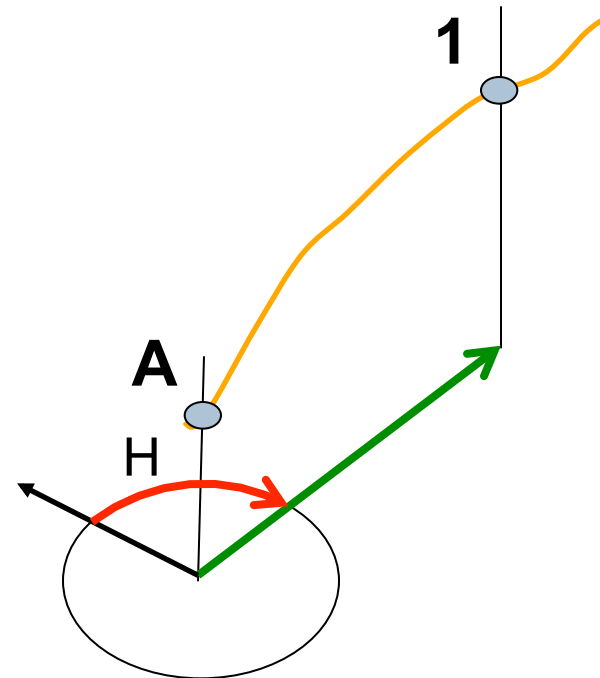
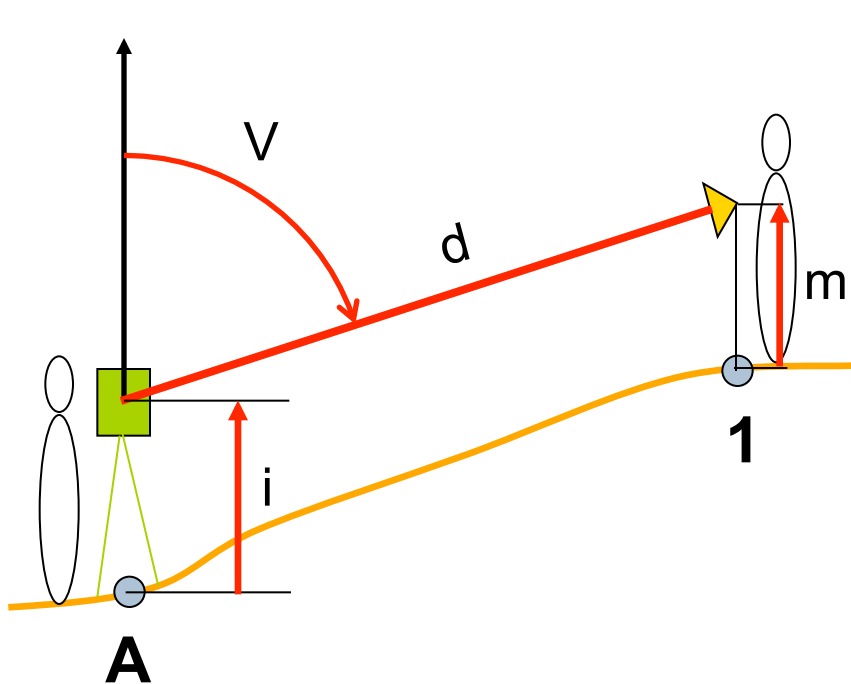


3.- ESTACIÓN TOPOGRÁFICA TOTAL.

Cálculo de coordenadas. Observables utilizados

Captura de observables básicos que definen una puntería sencilla.

CLAVES	ALTURA APARATO		PUNTOS		DISTANCIA				ANGULO H				ANGULO V				ALTURA PRISMA						
	m	cm	Estación	Visado	metros		mm		Grados		Segundos		Grados		Segundos		m	cm					
	1	5	3	A	1	0	3	2	9	8	1	8	0	6	9	3	8	5	1	2	1	3	0
	¡Siempre se anota la distancia geométrica, real o inclinada!																						

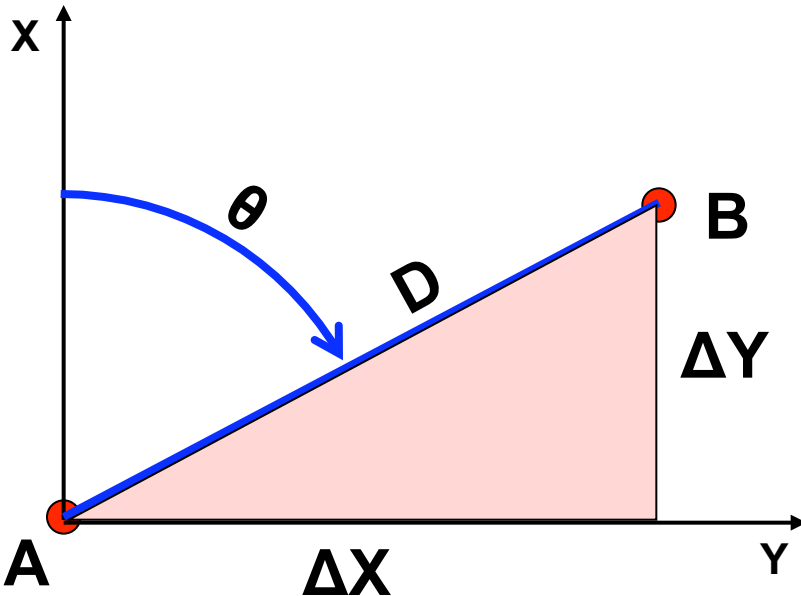


3.- ESTACIÓN TOPOGRÁFICA TOTAL.

Cálculo de coordenadas. Coordenadas planimétricas

Introducción al calculo de coordenadas desde una estación con coordenadas conocidas $A(X_a, Y_a, Z_a)$ para un punto visado B, a partir de las observaciones efectuadas: $(i_a, m^b, d_a^b, \theta_a^b, V_a^b)(*)$.

Cálculo de los **incrementos de coordenadas en planimetría**.



$$D_a^b = d_a^b \cdot \text{seno}(V_a^b)$$

$$\Delta X_a^b = D_a^b \cdot \text{sen}(\theta_a^b)$$

$$\Delta Y_a^b = D_a^b \cdot \text{cos}(\theta_a^b)$$

$$X_b = X_a + \Delta X_a^b$$

$$Y_b = Y_a + \Delta Y_a^b$$

(*) En este contexto, se designará θ y se denominará acimut al ángulo horizontal medido respecto al NC, conforme a la práctica habitual en Ingeniería, en la que no se usa el “acimut” respecto al NG. Se supone que el cero del aparato coincide con la dirección del NC, para la simplificación del cálculo.



3.- ESTACIÓN TOPOGRÁFICA TOTAL.

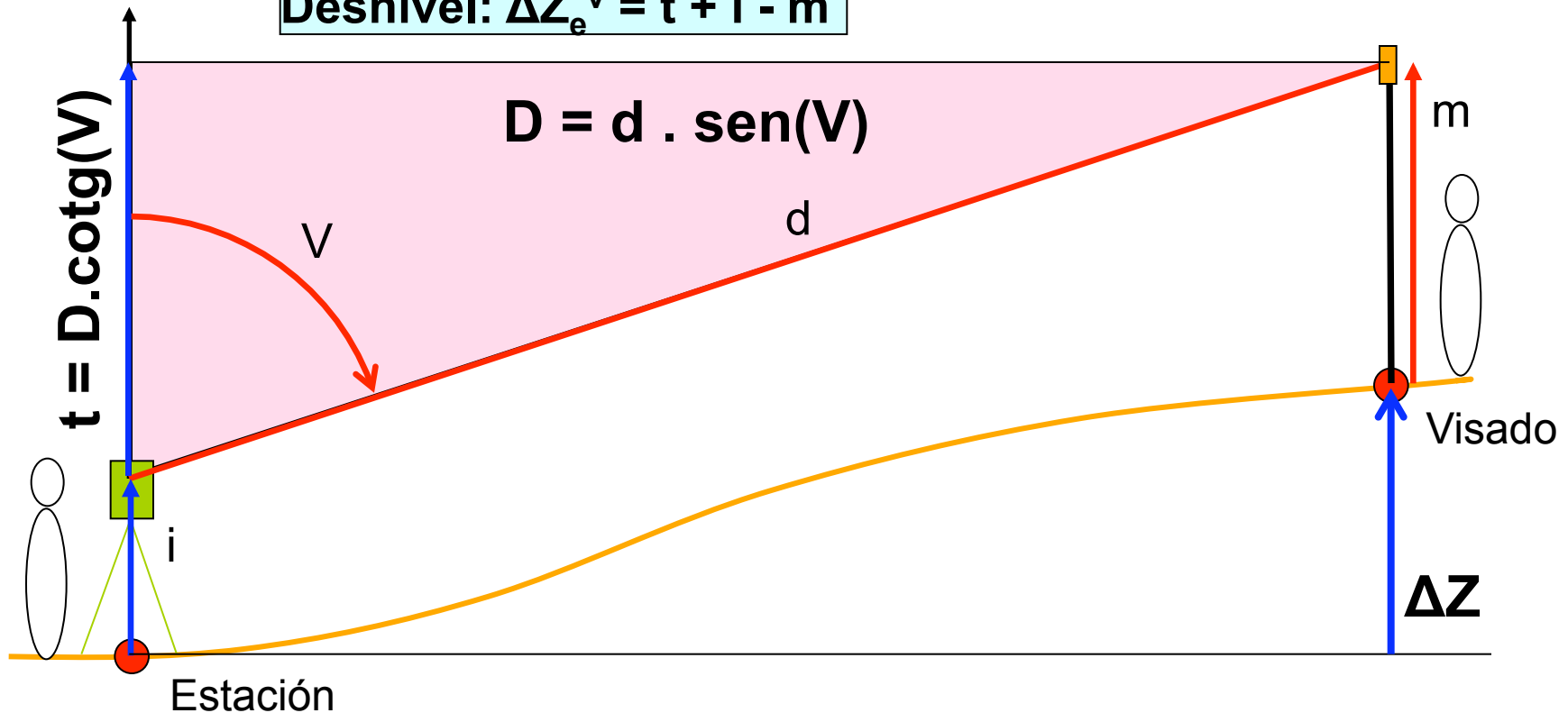
Cálculo de coordenadas. Altimetría

Observables para la obtención del desnivel entre estación y visado:

Punto estación: **i** (altura equipo)

Cada punto visado: **d** (geométrica), **V** (cenital), **m** (altura mira)

$$\text{Desnivel: } \Delta Z_e^v = t + i - m$$



3.- ESTACIÓN TOPOGRÁFICA TOTAL.

Cálculo de coordenadas. Ejemplo

Cálculo de la posición del punto observado: expresiones básicas.

CLAVES	ALTURA APARATO		PUNTOS		DISTANCIA				ANGULO H		ANGULO V		ALTURA PRISMA				
	m	cm	Estación	Visado	metros		mm		Grados	Segundos	Grados	Segundos	m	cm			
	1	5	3	A	1	0	3	2	9	8	1	8	0	6	1	3	0
	¡Siempre se anota la distancia geométrica, real o inclinada!																

Hipótesis: se supone que la lectura acimutal es la orientación ($L = T = \theta$).

$$D_a^1 = d_a^1 \cdot \text{seno}(V_a^1)$$

$$D_a^1 = d_a^1 \cdot \text{seno}(93,8512) = 1028,167$$

$$\Delta X_a^1 = D_a^1 \cdot \text{seno}(\theta_a^1)$$

$$\Delta X_a^1 = D_a^1 \cdot \text{seno}(98,1806) = 1027,747$$

$$\Delta Y_a^1 = D_a^1 \cdot \cos(\theta_a^1)$$

$$\Delta Y_a^1 = D_a^1 \cdot \cos(98,1806) = 29,380$$

$$\Delta Z_a^1 = D_a^1 \cdot \cotg(V_a^1) + i_a - m^1$$

$$\Delta Z_a^1 = D_a^1 \cdot \cotg(93,8512) + 1,53 - 1,3 = 99,615 + 1,53 - 1,3 = 99,845$$

Conocidos los incrementos de coordenadas de A a 1, se suman a las coordenadas de A, obteniéndose las de 1.

$$X_1 = X_a + \Delta X_a^1$$

$$Y_1 = Y_a + \Delta Y_a^1$$

$$Z_1 = Z_a + \Delta Z_a^1$$



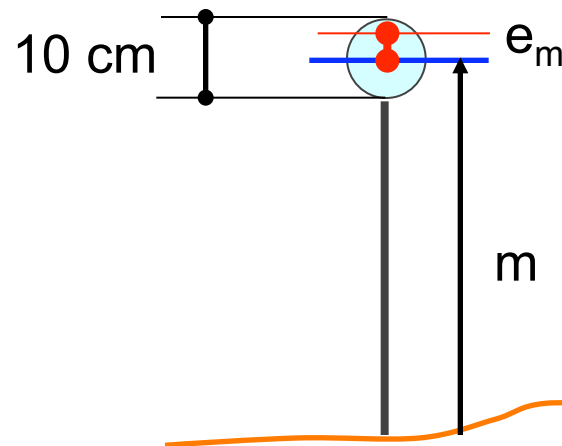
3.- ESTACIÓN TOPOGRÁFICA TOTAL.

Precisión en las medidas.

Se tendrán presentes las siguientes particularidades:

- ▶ Respecto al cálculo de la **precisión en la medida de la distancia**:
 - ▶ Observar que las magnitudes que se considera para la precisión en la medida de la distancia ($f+v$) y para el error de dirección en la precisión angular acimutal son semejantes.
 - ▶ Se debe combinar la precisión del distanciómetro (fija + variable) con el error de dirección ($e_e + e_p$).
- ▶ Respecto al **error de puntería**, en la determinación **de la precisión altimétrica**.
 - ▶ Se considerarán los siguientes valores, para 1 prisma.

Rango	e_m (cm)
0 – 100	1
100 – 200	2
200 – 500	3
500 – 1000	4
1000 – 2000	5



3.- ESTACIÓN TOPOGRÁFICA TOTAL.

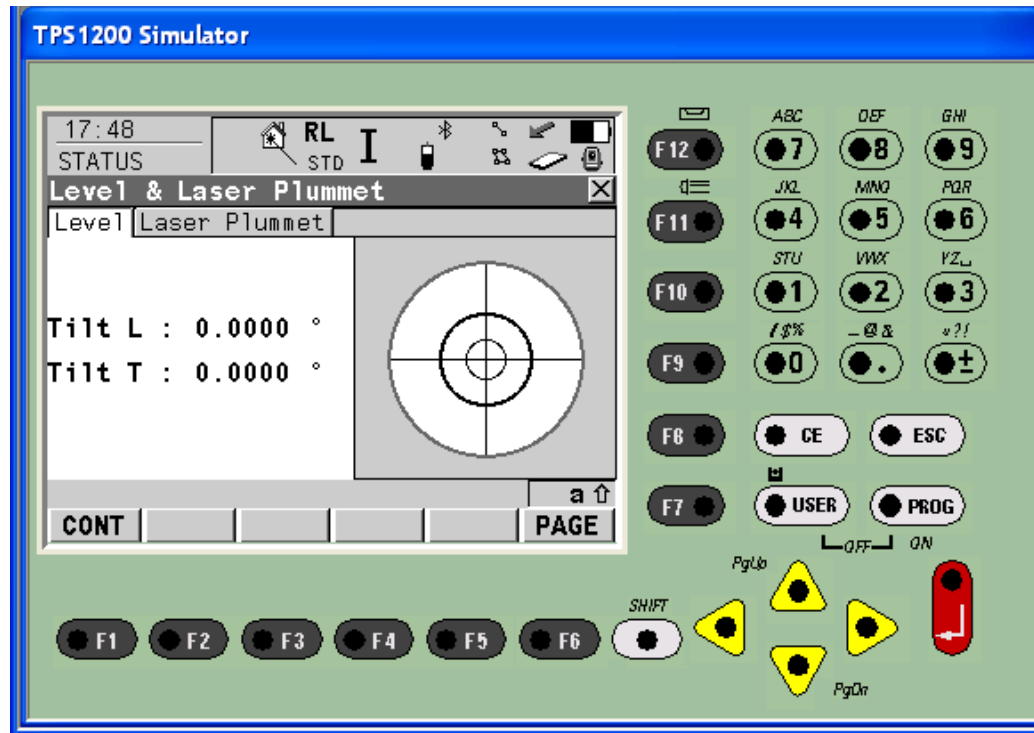
Mejoras.

A.- Mejoras generalizadas de interés en la Ingeniería que ofrecen las ETT actuales.

- ▶ **Plomada láser.**
 - ▶ Evolución de las plomadas ópticas.
 - ▶ Precisión típica: 1,0 mm a 1,5 m de altura de estacionamiento.
- ▶ **Sensibilidad del nivel electrónico.**
 - ▶ Sustituye al nivel tórico en la alidada.
 - ▶ Precisión típica: 2", equivalente a 6^{cc}.
- ▶ **Compensador** para la observación de los ángulos cenitales.
 - ▶ Dispone de sistemas que automáticamente / continuamente ajustan las observaciones a la vertical del lugar.
- ▶ Precisión en las **medidas angulares**:
 - ▶ Normal: 3^{cc}, 6^{cc}, 9^{cc}, 15^{cc}
 - ▶ Especial: 2^{cc}, 1^{cc}, 0.15^{cc}
- ▶ Precisión en la **medida de distancias**:
 - ▶ Normal: 2 ó 3 mm $\pm$ 2 ó 3 ppm
 - ▶ Especial: 1 mm $\pm$ 1 ppm o incluso submilimétricos



3.- ESTACIÓN TOPOGRÁFICA TOTAL. Mejoras.



Ejemplo equipo
Leica TPS 1200

Medición Angular

		Tipo 1201	Tipo 1202	Tipo 1203	Tipo 1205
Precisión	Hz, V	1" (0.3 mgon)	2" (0.6 mgon)	3" (1 mgon)	5" (1.5 mgon)
(desviación estándar, ISO 17123-3)	Resolución de pantalla:	0.1" (0.1 mgon)	0.1" (0.1 mgon)	0.1" (0.1 mgon)	0.1" (0.1 mgon)
Método	Absoluto, continuo, diametral				
Compensador	Rango de Trabajo	4' (0.07 gon)	4' (0.07 gon)	4' (0.07 gon)	4' (0.07 gon)
	Precisión	0.5" (0.2 mgon)	0.5" (0.2 mgon)	1.0" (0.3 mgon)	1.5" (0.5 mgon)
	Método	Compensador de doble eje centrado			

3.- ESTACIÓN TOPOGRÁFICA TOTAL.

Mejoras.

Medición de distancias (IR)

Alcance (condiciones atmosféricas medias)	Prisma Circular (GPR1):	3000 m
	Prisma 360° (GRZ4):	1500 m
	Miniprisma (GMP101):	1200 m
	Diana Reflectante (60 mm x 60 mm):	250 m
	Mínima distancia medible:	1.5 m
Precisión / Tiempo Medición (desviación estándar, ISO 17123-4)	Modo Estándar:	2 mm + 2 ppm / típ. 1.5 s
	Modo Rápido:	5 mm + 2 ppm / típ. 0.8 s
	Modo Tracking:	5 mm + 2 ppm / típ. < 0.15 s

Datos Generales

Anteojo	
Aumentos:	30 x
Apertura libre objetivo:	40 mm
Campo de visión:	1°30' (1.66 gon) / 2.7 m a 100 m
Rango de enfoque:	1.7 m al infinito
Teclado y pantalla	
Pantalla:	LCD 1/4 VGA (320*240 pixeles), gráfica, iluminación, pantalla táctil (opcional)
Teclado:	34 botones (12 función, 12 alfanuméricos), iluminación
Ángulos mostrados:	360° ' ", 360° decimal, 400 gon, 6400 mil, v%
Distancia mostrada:	Metro, pie int., pie/pulgada, pie US, pie/pulgada US
Posición:	Posición I estándar, Posición II opcional
Almacenamiento datos	
Memoria Interna:	32 MB (opcional)
Tarjeta de memoria:	CompactFlash (32 MB y 256 MB)
Número de grabaciones:	1750 / MB
Interface:	RS232, Bluetooth* Wireless-Technology (opcional)
Nivel circular	
Sensibilidad:	6' / 2 mm

Plomada Láser	
Precisión centrado:	1.5 mm a 1.5 m
Diámetro punto láser:	2.5 mm a 1.5 m
Tornillos sin fin	
Nº de tornillos:	1 horizontal / 1 vertical
Batería (GEB221)	
Tipo:	Ión-Litio
Voltaje:	7.4 V
Capacidad:	3.8 Ah
Tiempo de trabajo:	típ. 6 – 8 h
Pesos	
Estación total:	4.8 – 5.5 kg
Batería (GEB221):	0.2 kg
Base nivelante (GDF121):	0.8 kg
Especificaciones del entorno	
Rango de temperatura de trabajo:	-20°C a +50°C
Rango de temperatura de almacenamiento:	-40°C a +70°C
Polvo / Agua (IEC 60529):	IP54
Humedad:	95%, sin condensación



3.- ESTACIÓN TOPOGRÁFICA TOTAL.

Mejoras.

B.- Mejoras particulares:

- ▶ Posibilidad de **medición**:
 - ▶ **Medición de distancia sin prisma**: Empleo de láser rojo visible, de baja potencia; además del usual infrarrojo. El láser se caracteriza por un menor rango de distancias, típica en torno a 500 m, pudiendo llegar hasta los 1000m 
 - ▶ **Medición de distancia infrarrojo de largo alcance**: Utiliza un rayo láser fuertemente colimado (IR), pudiéndose medir en peores condiciones atmosférica y con un gran alcance. 
- ▶ **Estaciones motorizadas**.
 - ▶ Incorporación de 2 motores que permiten el movimiento autónomo del equipo en los 2 ejes del equipo.
 - ▶ Estaciones **robotizadas**. 
 - ▶ Posibilita el **reconocimiento automático del prisma** (autofocus). 
 - ▶ Posibilita el **rastreo y medición automática del prisma**. (Autolock, PowerSearch). 
- ▶ **Ayuda al replanteo**.
 - ▶ Auxilios visuales para facilitar la alineación del prisma en una dirección en los trabajos de replanteo de un punto. 



3.- ESTACIÓN TOPOGRÁFICA TOTAL.

Mejoras. Medición sin prisma.

Puntero R100/R300 medición distancias sin prisma (LR)

Alcance (condiciones atmosféricas medias)	PuntoPreciso R100:	170 m/100 m (Carta Kodak Gris reflexivo 90% / 18% reflexivo)
	PuntoPreciso R300:	500 m/300 m (Carta Kodak Gris reflexivo 90% / 18% reflexivo)
	Minima distancia medible:	1.5 m
	Largo Alcance al prisma circular (GPR1):	1000 m – 7500 m
Precisión / Tiempo Medición (desviación estándar, ISO 17123-4)	Sin prisma < 500 m:	3 mm + 2 ppm / tip. 3 – 6 s, max. 12 s
	Sin prisma > 500 m:	5 mm + 2 ppm / tip. 3 – 6 s, max. 12 s
	Largo Alcance:	5 mm + 2 ppm / tip. 2.5 s, max. 12 s
Tamaño del punto láser	A 20 m:	Aprox. 7 mm x 14 mm
	A 100 m:	Aprox. 12 mm x 40 mm
Método	PuntoPreciso R100:	Medición de fase (coaxial, láser rojo visible)
	PuntoPreciso R300:	Sistema de Análisis (coaxial, láser rojo visible)

18:11 RL STD I

CONFIGURE

EDM & ATR Settings

Survey Setup

EDM Type : Reflector (IR)

EDM Mode : Standard

Reflector : Leica Circ Prism

Add. Constant: 0.0 mm

Automation : ATR

ATR Settings : Normal

a ↑

CONT TEST PAGE

18:11 RL STD I

CONFIGURE

EDM & ATR Settings

Survey Setup

EDM Type : Reflectorless (RL)

EDM Mode : Standard

Reflector : Reflectorless

Add. Constant: 34.4 mm

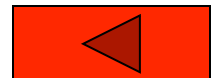
Automation : None

ATR Settings : Normal

a ↑

CONT TEST PAGE

Ejemplo equipo
Leica TPS 1200



3.- ESTACIÓN TOPOGRÁFICA TOTAL.

Mejoras. Medición de largas distancias

Alcance

Estándar prisma (GPR1):
 Diana reflectora (60 mm x 60 mm):
 Alcance medida al prisma:
 Alcance sin ambigüedades:

Condiciones atmosféricas:

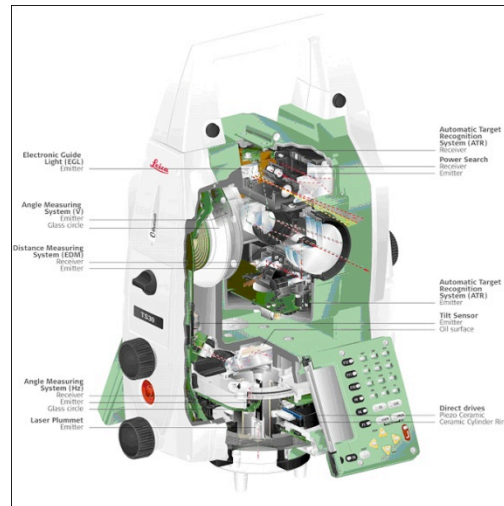
A	B	C
2200 m (7300 ft) 600 m (2000 ft) 1000 m to 12000 m up to 12000 m	7500 m (24600 ft) 1000 m (3300 ft)	> 10000 m (> 32800 ft) > 1300 m (> 4300 ft)

A: Fuerte niebla, visibilidad 5 km, deslumbramiento solar, fuerte calima
B: Ligera Niebla, visibilidad 20 Km.; moderado brillo solar, ligera calima
C: Nublado, sin niebla, visibilidad 40 Km., sin calima

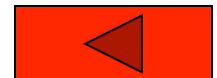
Precisión (Desviación Estándar ISO 17123-4) / Tiempo medición

Alcance total de medición:
 Resolución en pantalla:

3 mm + 1 ppm / typ. 2.5 s, max. 12 s
 0.1 mm



Ejemplo equipo
 Leica TM30



3.- ESTACIÓN TOPOGRÁFICA TOTAL.

Mejoras. Robotizadas

Una **estación robotizada** permite el control remoto de la estación por el operador que porta el prisma; manejándose todo por un **único operador**.

Hay que considerar que el levantamiento realmente lo define el operador que lleva el prisma.

Unidad de Control Remoto (RX1220)

Comunicación	Vía radio modem integrado	
Unidad de Control	Pantalla:	LCD 1/4 VGA (320*240 píxeles), gráfica,
	Teclado:	62 botones (12 función, 40 alfanuméricos)
	Interface:	RS232
Batería (GEB211)	Tipo:	Ión-Litio
	Voltaje:	7.4 V
	Capacidad:	1.9 Ah
	Tiempo de trabajo:	típ 10 h
Pesos	Unidad de Control RX1220:	0.6 kg
	Batería (GEB211):	0.1 kg
	Adaptador al bastón:	0.25 kg
Especificaciones del entorno	Rango de temperatura de trabajo:	-30°C a +65°C
	Rango de temperatura de almacenamiento:	-40°C a +80°C
	Polvo / Agua (IEC 60529):	IP67
	Resistencia al agua (MIL-STD-810F):	Inmersión temporal a 1 m

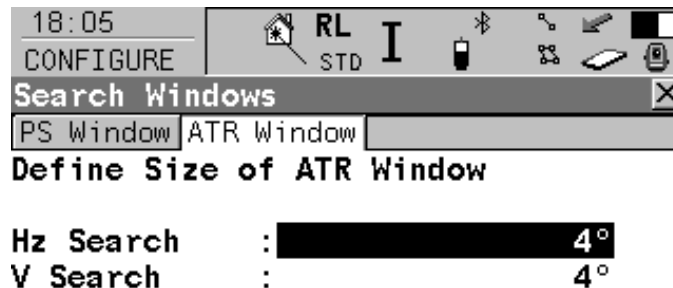


3.- ESTACIÓN TOPOGRÁFICA TOTAL.

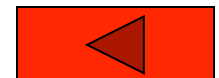
Mejoras. Reconocimiento automático del prisma.

Reconocimiento Automático de Prisma (ATR)

Alcance Modo ATR / Modo LOCK (condiciones atmosféricas medias)	Prisma Circular (GPR1):	1000 m / 800 m
	Prisma 360° (GRZ4):	600 m / 500 m
	Miniprisma (GMP101):	500 m / 400 m
	Diana Reflectante (60 mm x 60 mm):	55 m (175 ft)
	Mínima distancia medible:	1.5 m / 5 m
Precisión / Tiempo medición	Precisión Posicionamiento:	< 2 mm
	Tiempo medición:	3 – 4 s
Velocidad máxima (Modo LOCK)	Tangencial (modo estándar):	5 m / s a 20 m, 25 m / s a 100 m
	Radial (modo tracking):	4 m / s
Método	Procesamiento Imagen Digital (haz láser)	



Ejemplo equipo
Leica TPS 1200



3.- ESTACIÓN TOPOGRÁFICA TOTAL.

Mejoras. Power Search.

PowerSearch (PS)

Alcance (condiciones atmosféricas medias)	Prisma Circular (GPR1):	200 m
	Prisma 360° (GRZ4):	200 m (perfectamente alineado al instrumento)
	Miniprisma (GMP101):	100 m
	Mínima distancia medible:	5 m
Tiempo de búsqueda	Tiempo búsqueda típico:	< 10 s
Velocidad máxima	Velocidad Rotación:	45° / s
Método	Procesamiento Imagen Digital (abanico rotante láser)	

18:21

CONFIGURE

Search Windows

PS Window ATR Window

PS Window : Off

Hz left : 0°

Hz right : 0°

V upper : 90°

V lower : 90°

Dist min : Min

Dist max : Max

CONT NEW CENTR SHOW PAGE

18:23

CONFIGURE

Search Windows

PS Window ATR Window

PS Window : On

Hz left : 90°

Hz right : 180°

V upper : 72°

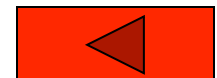
V lower : 108°

Dist min : 25 m

Dist max : 150 m

CONT NEW CENTR SHOW PAGE

Default: 0° a 360°, dentro de los ± 20 gon del horizonte



3.- ESTACIÓN TOPOGRÁFICA TOTAL.

Mejoras. Ayuda al replanteo

Luces Replanteo (EGL)

Alcance

(condiciones atmosféricas medias)

Rango de trabajo:

5 m – 150 m

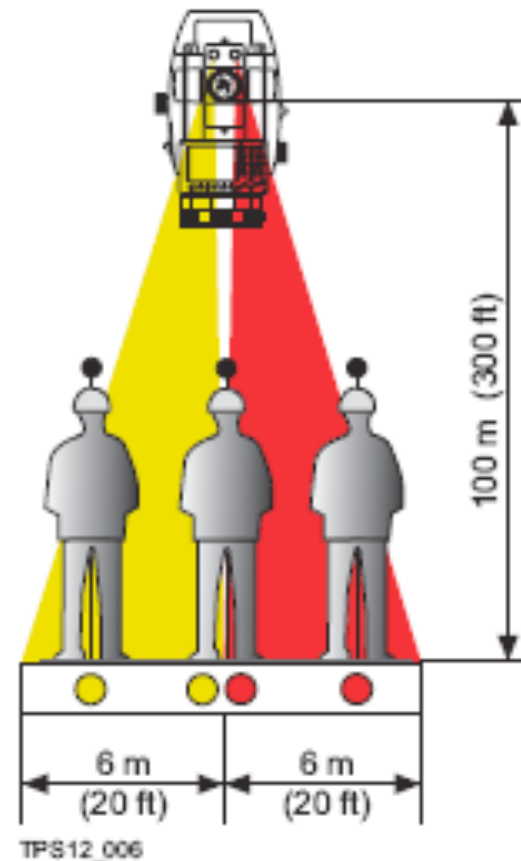
Precisión

Precisión posicionamiento:

5 cm a 100 m

Son ayudas visuales que ofrecen algunas estaciones:

- **Replanteo**: operación por la que el operador de la estación trata de posicionar al prisma en una posición concreta: en una dirección y a una distancia determinada.
- Formado por 2 luces, de colores diferentes, que puede observar el operador que lleva el prisma.
- El operador del prisma sabe si se encuentra a dcha. o izquierda de la alineación requerida.



4.- LÁSER ESCÁNER TERRESTRE (TLS).

CARACTERÍSTICAS GENERALES

- Aparato para la captura masiva de puntos, hasta varios cientos de miles por segundo.
- Permite la obtención de modelos “casi-continuos” mediante un sistema de barrido y medida.
- Captura ángulos y distancias y reflectancia. Optimo en distancias cortas.
- Medida automática, similar a las ETT, definiendo un ancho de malla.
- El resultado son las coordenadas de los puntos medidos así como su reflectancia.



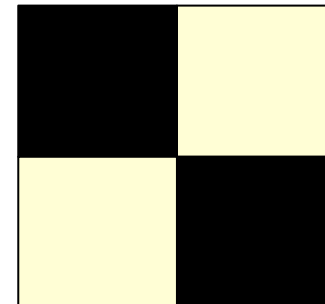
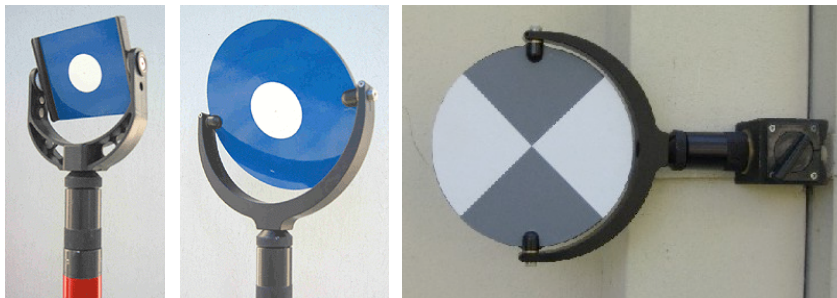
4.- LÁSER ESCÁNER TERRESTRE (TLS).

COMPONENTES

Los componentes son:

- Unidad de exploración.
Es el componente principal.
- Unidad de control.
Permite gestionar la toma de datos y su almacenamiento.
- Fuente de energía.
- Trípode y medios auxiliares.

Dianas, esferas y, en general, elementos que permiten la georreferenciación.



4.- LÁSER ESCÁNER TERRESTRE (TLS).

COMPONENTES. Unidad de exploración

A- Telémetro. Dispositivo para la medida de distancia.

- Telémetros con láser pulsante: (tiempo de vuelo)
 - Pulsos entre 1 y 10 kilociclos.
 - Medida del tiempo de vuelo de entre 4 y 7 picosegundos
 - Mayor alcance.
 - Menor velocidad de escaneo (50.000 puntos por segundo).

- Telémetros de medida de fase.
 - Láser continuo de potencia modulada.
 - Comparación de la fase emitida y recibida.
 - Menor alcance
 - Mayor velocidad de escaneo (hasta 1 millón de puntos por segundo)
 - Menor precisión (2mm cada 25m)

Habitualmente es utilizado para clasificar el TLS

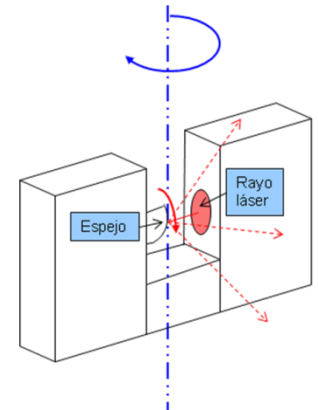


4.- LÁSER ESCÁNER TERRESTRE (TLS).

COMPONENTES. Unidad de desviación.

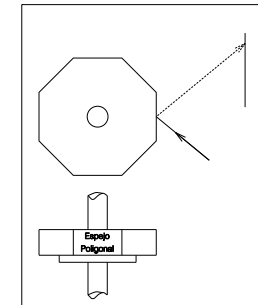
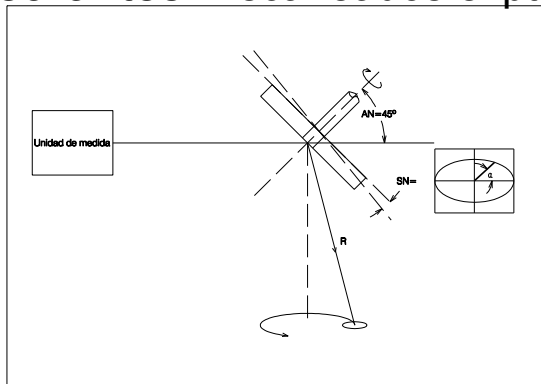
B- Unidad de desviación del rayo láser.

- Espejos planos rotativos: Bajo coste de fabricación.



- Espejos poligonales rotativos: Calibración frecuente.

- Espejos oscilantes: Escaneados elípticos



4.- LÁSER ESCÁNER TERRESTRE (TLS).

PLANTEAMIENTO DE LA MEDIDA.

A- Definición del área a escanear.

Útil una exploración inicial a baja resolución

B- Establecimiento de la resolución.

Dependerá de la escala de representación y la superficie a escanear.

C- Elección del equipo a utilizar.

D- Selección de los puntos de estacionamiento del escáner.

E- Elección de los puntos para la georreferenciación.

Georreferenciación directa:

Aparato estacionado en un punto de coordenadas conocidas y se orienta a una referencia externa.

Georreferenciación indirecta:

Al menos tres puntos de coordenadas conocidas

Mínimo de 3 puntos comunes entre escaneos consecutivos: Uso de dianas*.

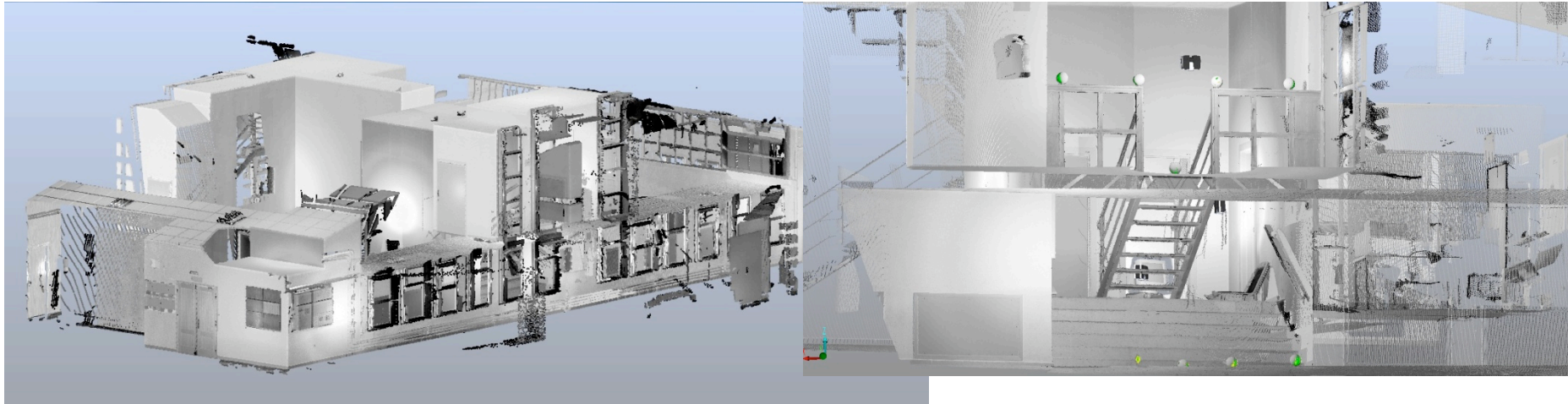
F- Análisis del volumen de datos.



4.- LÁSER ESCÁNER TERRESTRE (TLS).

PROCESADO DE DATOS.

- Necesario por la existencia de puntos no deseados (ruido, datos redundantes, etc.)



- Software básico que permite realizar operaciones mínimas.
- Software específico en función del uso del trabajo.

Ajuste de primitivas gráficas.

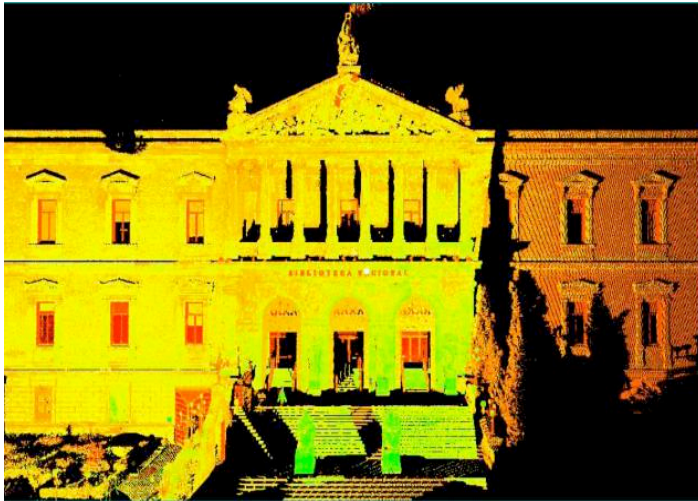
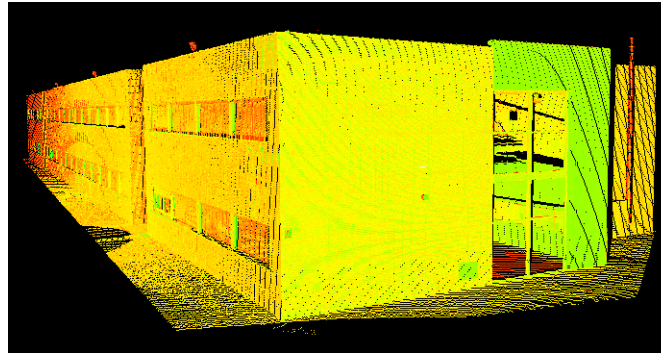
Triangulación mediante modelos TIN.



4.- LÁSER ESCÁNER TERRESTRE (TLS).

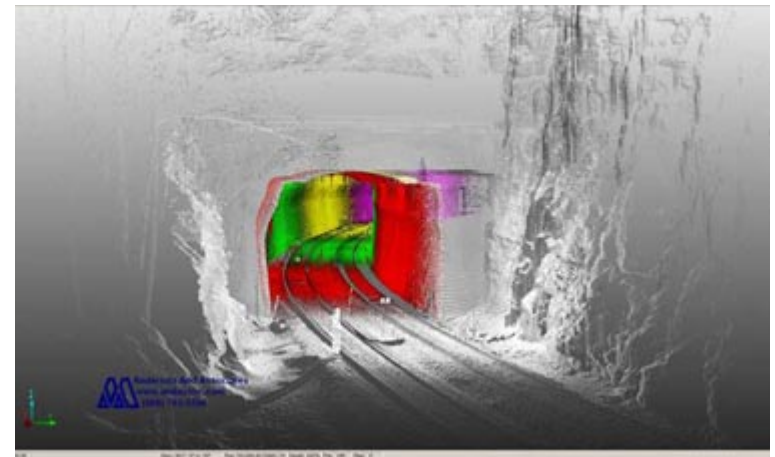
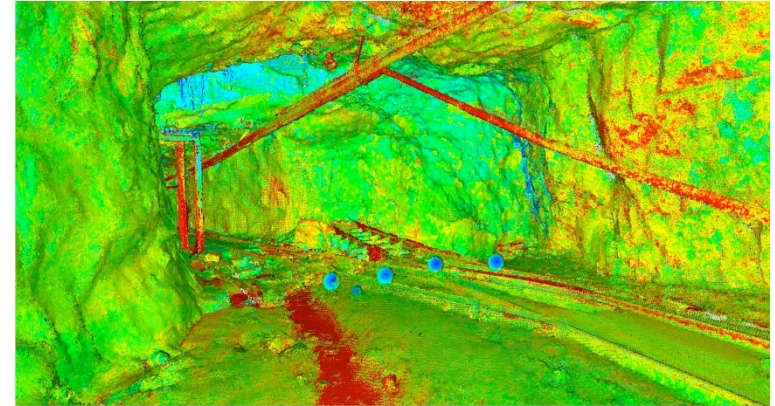
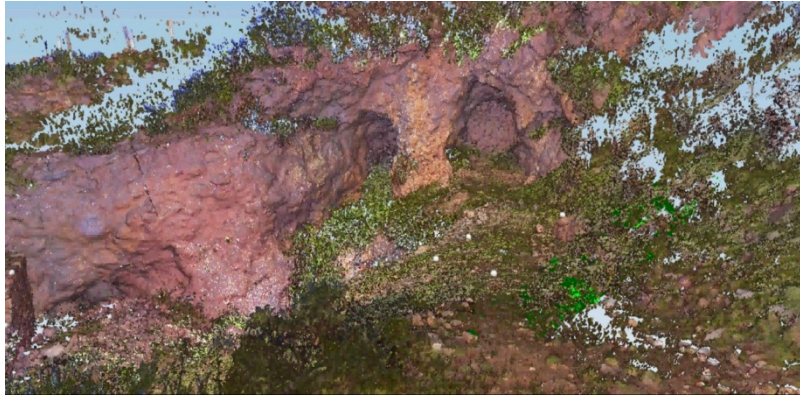
USOS.

- **PATRIMONIO.** Modelización de fachadas, edificios, monumentos.



4.- LÁSER ESCÁNER TERRESTRE (TLS). USOS.

▪ TÚNELES, CUEVAS.

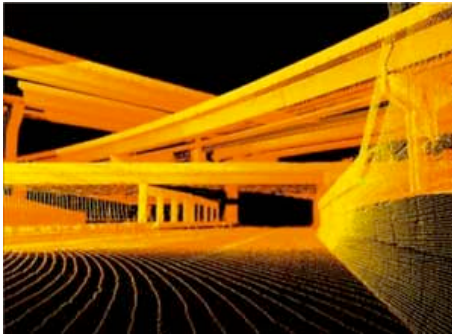


Fuente: Faro

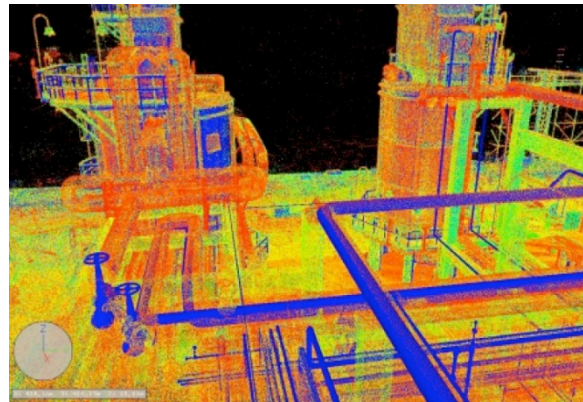
4.- LÁSER ESCÁNER TERRESTRE (TLS).

USOS.

- LEVANTAMIENTOS.



- INDUSTRIAL



- OTROS: Arqueología, ciencias forenses, etc.

