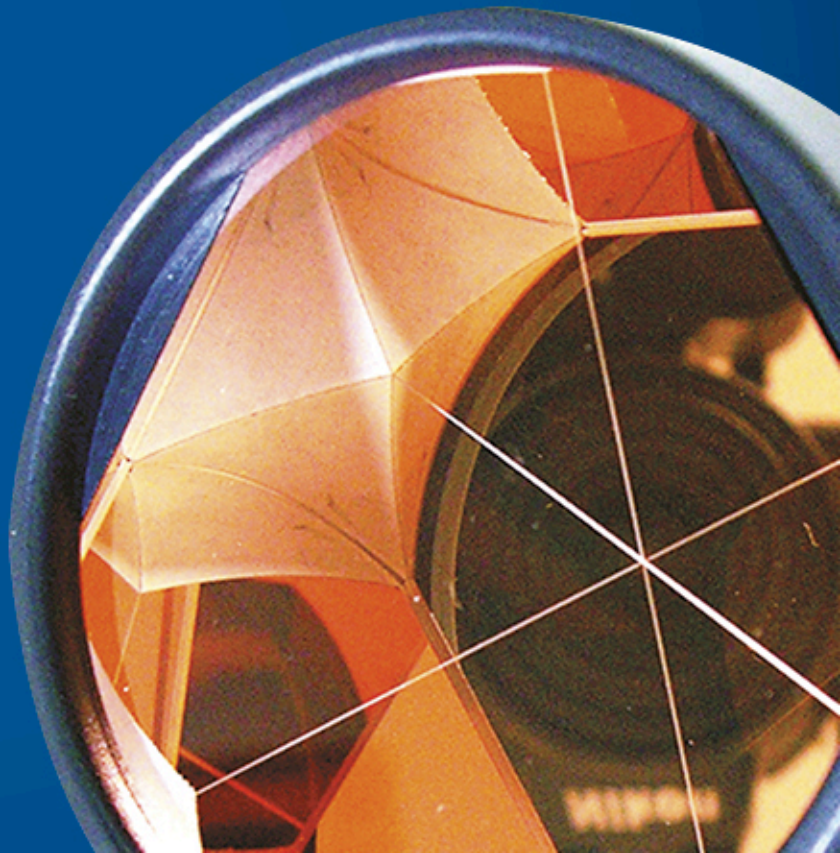
Fuentes de error en EDM III (C_e)



Autor:
José Luis Valbuena

Fuentes de error en EDM

III (C_e)

Esta presentación es para dar clase.
No es una unidad de divulgación
porque le faltan los parlamentos.

Edición 2016 - III

© Valbuena

Las fuentes de error existentes en electrodistanciometría (EDM) se pueden agrupar en:

<u>Proporcionales a la distancia:</u>

- **Frecuencia de modulación**
- **Índice de refracción**

(y curvatura de la trayectoria -no lineal-)

<u>No proporcionales a la distancia:</u>

- **Constante del equipo**
- **Centrados mecánicos**

(y puntería incorrecta al reflector)
(y error cíclico)

Constante del equipo

Base lineal multipunto

Tres pilares o más, en alineación.

La alineación definida puede no ser horizontal.

Necesario sistema de autocentrado en las coronaciones.

En EDM, $D = L + C_e$

siendo D la distancia, L la lectura y C_e la constante del equipo.

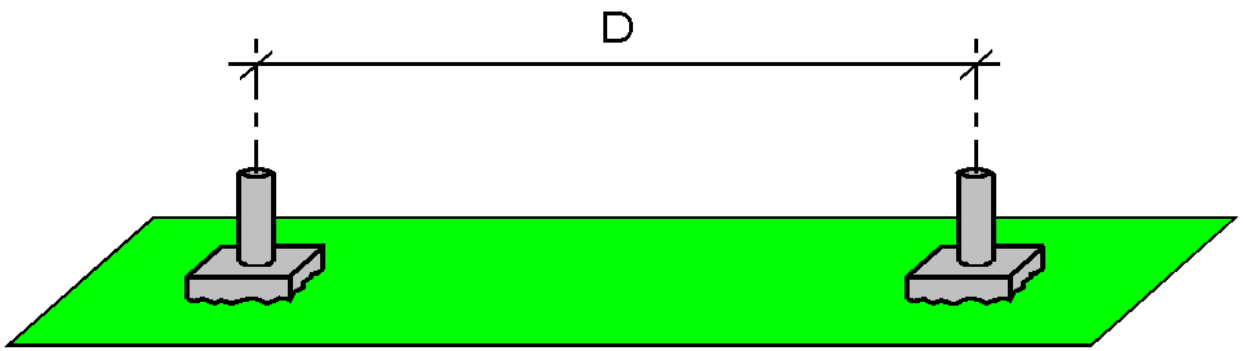
La C_e se define como $C_e = D - L$.

C_e se puede establecer de dos formas:

- **Comparación con valor conocido.**
- **Segmento divisible.**

Comparación con valor conocido

Necesarios dos pilares



$$D = L + C_e \qquad C_e = D - L$$

Hace falta conocer la distancia que separa los pilares con <u>mejor precisión</u> que la nominal del EDM a verificar.

Posibles patrones

- MEKOMETER ME-5000 → ±(0,2 mm + 0,2 ppm)
- TELLUROMETER MA-200 → ±(0,5 mm + 0,5 ppm)

Comparación con valor conocido

Precisión obtenible

C_e procede de una lectura.

Precisión igual al error nominal del EDM.

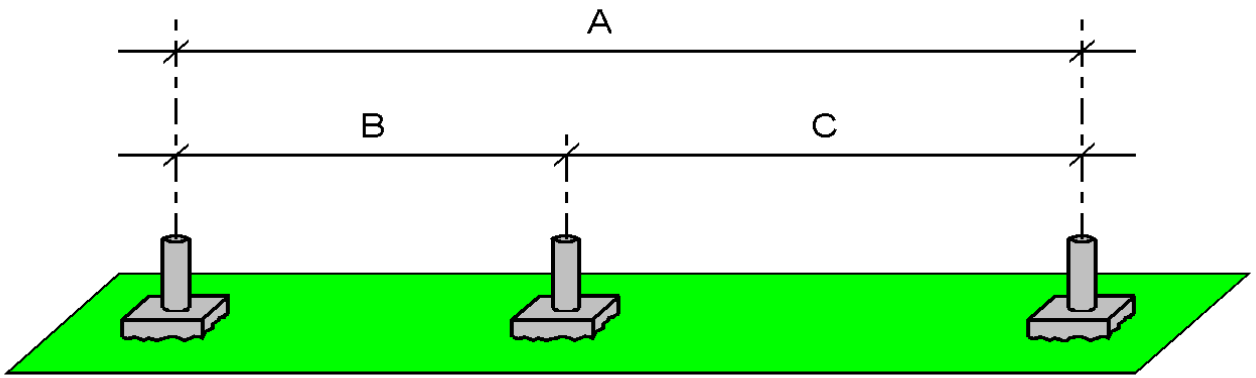
Segmento divisible

Necesarios tres pilares (o trípodes) alineados

$A = La + C_e$

$B = Lb + C_e$

$C = Lc + C_e$



$A = B + C$

Sustituyendo: $La + C_e = Lb + C_e + Lc + C_e$

Despejando: $C_e = La - (Lb + Lc)$

No hace falta conocer las distancias que los separan.

Segmento divisible

Mínimo de tres pilares

Con más pilares se obtiene redundancia en la determinación de C_e

Pilares	Distancias	Segmentos
3	3	1
4	6	4
5	10	10
6	15	20
7	21	35

La elección lógica es la de 4 o 5 pilares.

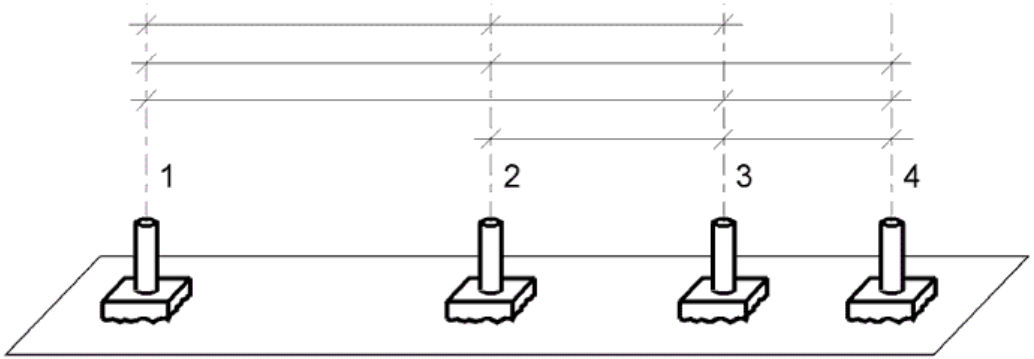
Con más, ya no compensa la inversión de tiempo de observación.

Segmento divisible

Precisión obtenible

Base de 4 pilares con seis medidas posibles:

1-2, 1-3, 1-4, 2-3, 2-4 y 3-4



Pueden formarse 4 segmentos divisibles: 1-2-3, 1-2-4, 1-3-4 y 2-3-4.

Hay 6 lecturas para resolver 4 incógnitas: 3 distancias y 1 constante.
Hay dos grados de redundancia para Ce, es decir, tres soluciones.
(Por la imprecisión nominal del EDM no hay soluciones únicas que verifiquen el sistema de ecuaciones, por lo que se denomina 'inconsistente'.)

Un valor de C_e procede de tres lecturas. La precisión de cada solución de C_e es $\sqrt{3}$ veces peor que el error nominal del EDM.

Precisión del valor medio de 3 C_e = $\sqrt{3}$ veces mejor que la de uno aislado.

Se compensa. Precisión de C_e igual al error nominal del EDM.

Desglose de la constante de equipo

La constante del equipo C_e tiene dos componentes, uno debido al instrumento, C_i, y otro debido al prisma, C_p.

$$C_e = C_i + C_p$$

En el caso de trabajar con Ni instrumentos y Np tipos de prisma:

Si sólo conocemos la C_e de cada pareja (EDM + prisma), se usarán Ni · Np valores para calcular la C_e en cada caso.

Si conociéramos independientemente las C_i de los Ni instrumentos y las C_p de los Np tipos de prismas, solamente trabajaríamos con Ni + Np valores para calcular la C_e en cada caso.

Tanto más complicado cuanto más EDMs y prismas se mezclen.

P. e.: con 4 EDM y 3 tipos de prismas hay 12 C_e…

… pero solo 7 C (4 C_i + 3 C_p).

Placa K

La placa K permite desglosar las C_i y C_p de la C_e

La placa K es una lámina reflectante presentada plana, vertical y normal al eje de medida, coplanaria con el eje mecánico vertical de estacionamiento.

La placa K devuelve la señal como un prisma.

Su constante C_k es de 0 mm para cualquier λ.

Nota: es alargada para poder apuntar con hm = hi.

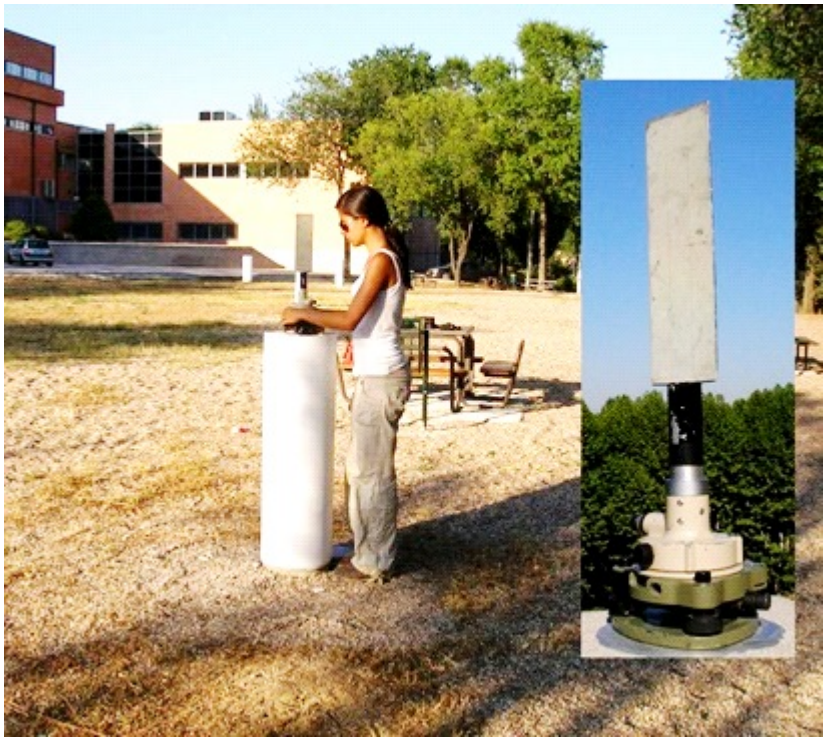
Placa K

Sobre un prisma efectuamos una medición L_p.

Se sustituye el prisma por la placa K y se mide L_k.

Usando la placa K, la medición se hace exactamente al eje mecánico de estacionamiento, porque C_k = 0 mm.

La constante C_p del prisma utilizado será entonces la diferencia:



$$C_p = L_k - L_p$$

Atención: la C_p de un prisma depende de la λ de la portadora del EDM. Es diferente para un láser visible, como el del ME-5000, que para uno infrarrojo, como el del MA-200 (aunque las diferencias son pequeñas).

Placa K

En una D conocida, su lectura es L_D

$$C_e = C_i + C_p$$

$$D = L_D + C_e$$

$$D = L_D + C_i + C_p$$

La constante instrumental C_i puede determinarse de dos formas.

1- Si medimos sobre un prisma con C_p conocida:

$$C_i = D - (L_D + C_p)$$

2- Si medimos sobre la placa K en lugar de sobre un prisma:

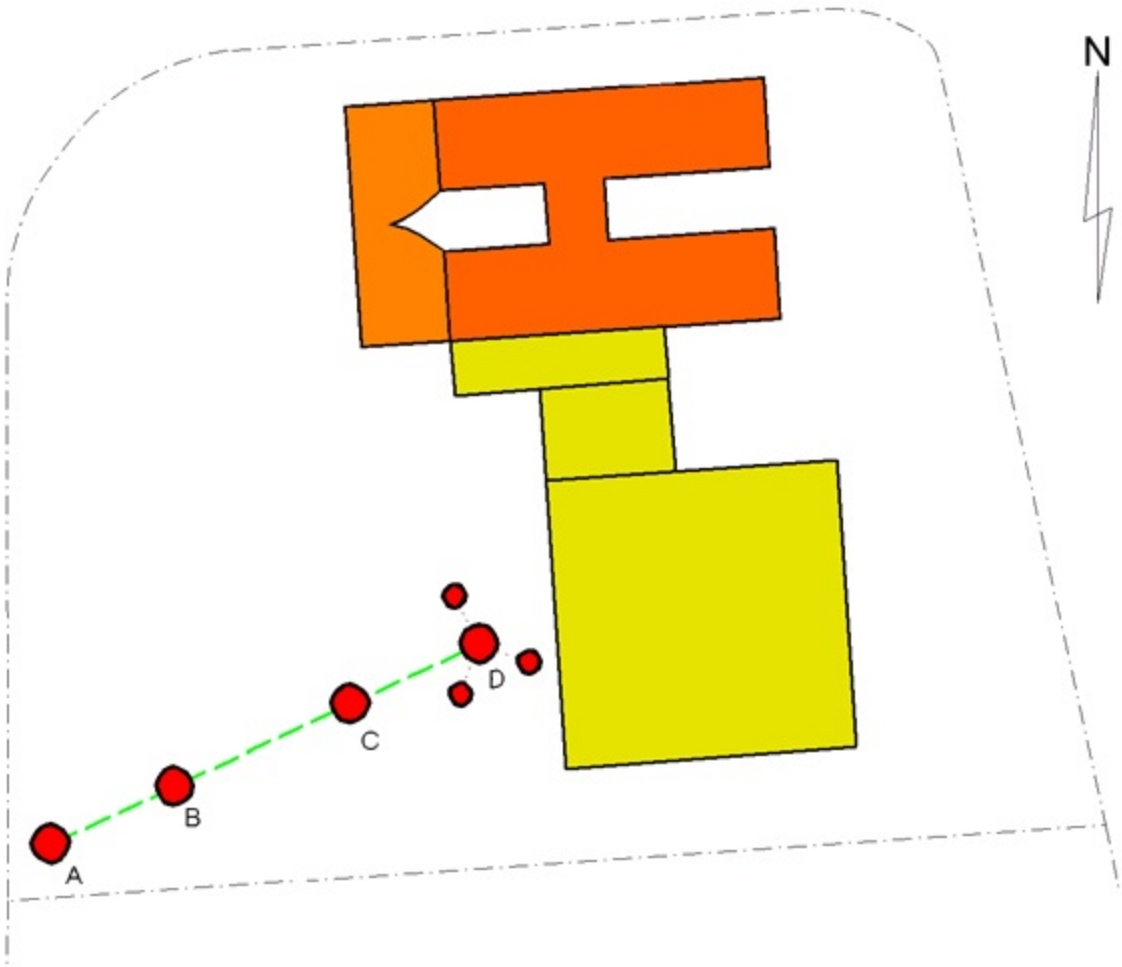
$$C_i = D - L_D$$

Base Lineal Multipunto de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Topografía, Geodesia y Cartografía

Universidad Politécnica de Madrid.

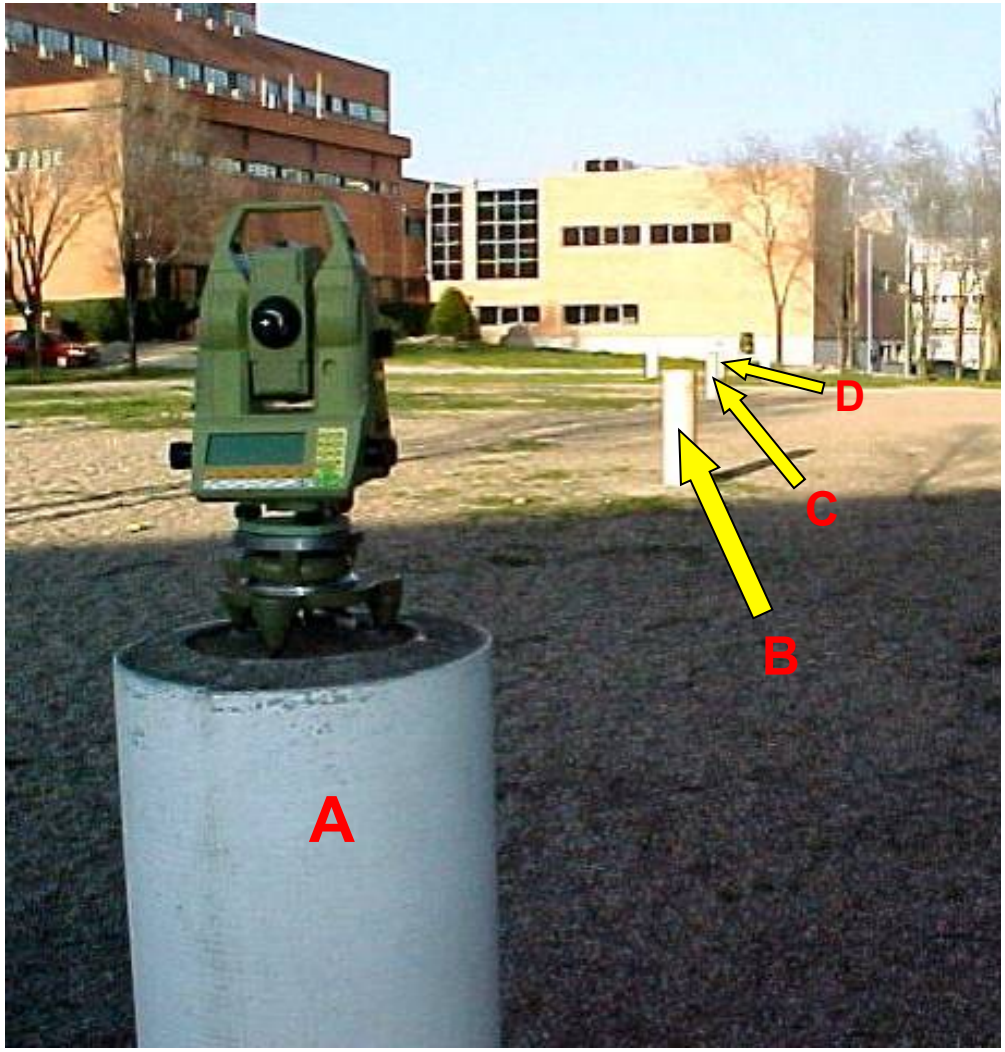
Base lineal multipunto

La Base tiene cuatro pilares y una longitud de 60 m



Alrededor del pilar D hay otros tres cercanos para estudiar con alta precisión centrados instrumentales

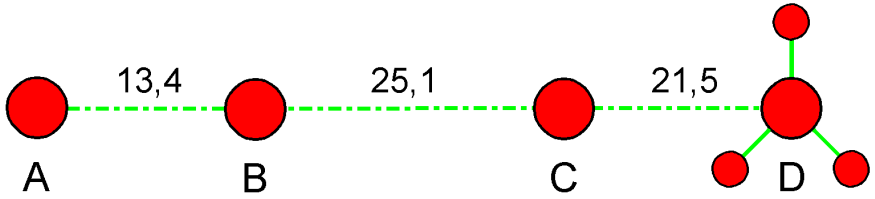
Base lineal multipunto



En la presentación ‘EDM 5-Otros’ se ofrece la historia de esta Base.

Base lineal multipunto

Vista panorámica
Configuración actual



Intervalos

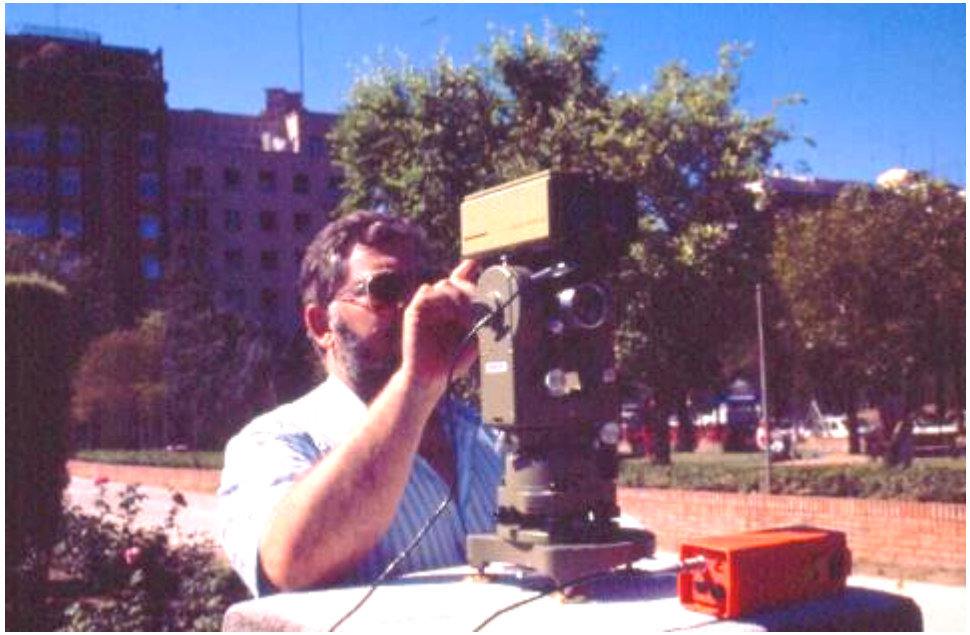
Alrededor del último pilar (D) permanecen los tres pilares auxiliares para el análisis, con precisión de 1×10^{-5} m (0,01 mm), de centrados instrumentales.

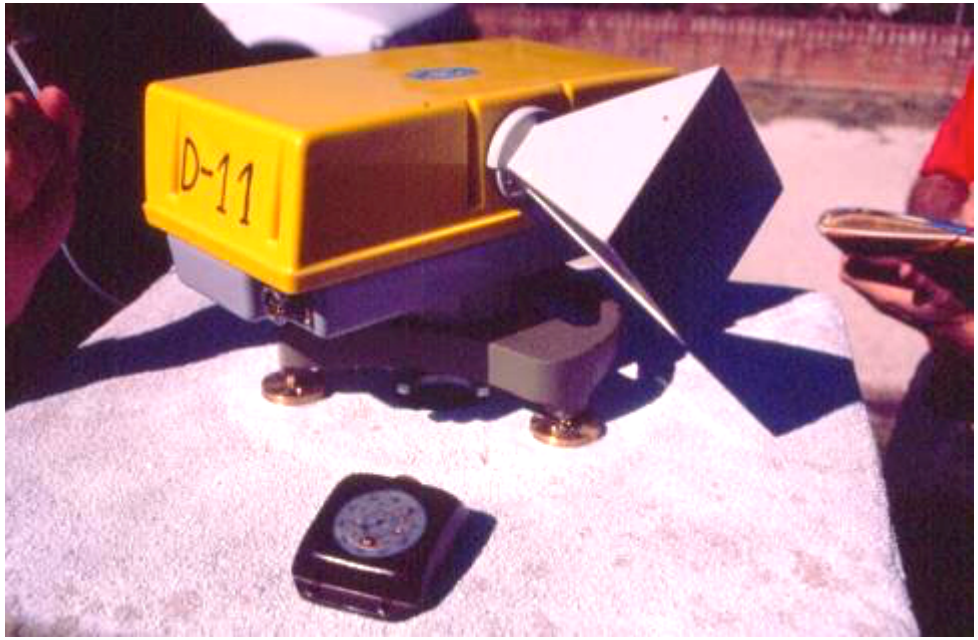
Verificaciones en la Base

TELLUROMETER MA 200 y su prisma

FENNEL PULSAR

WILD
DI 3000

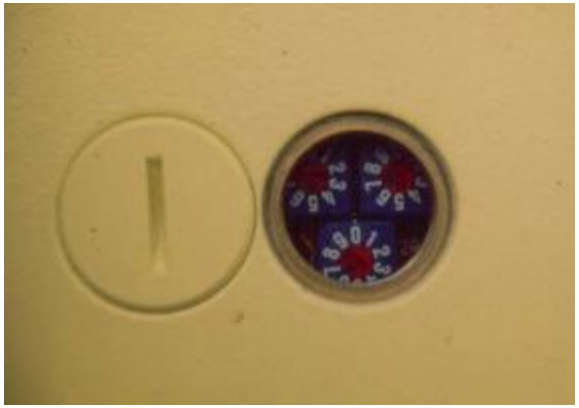




TELLUROMETER CA 1000

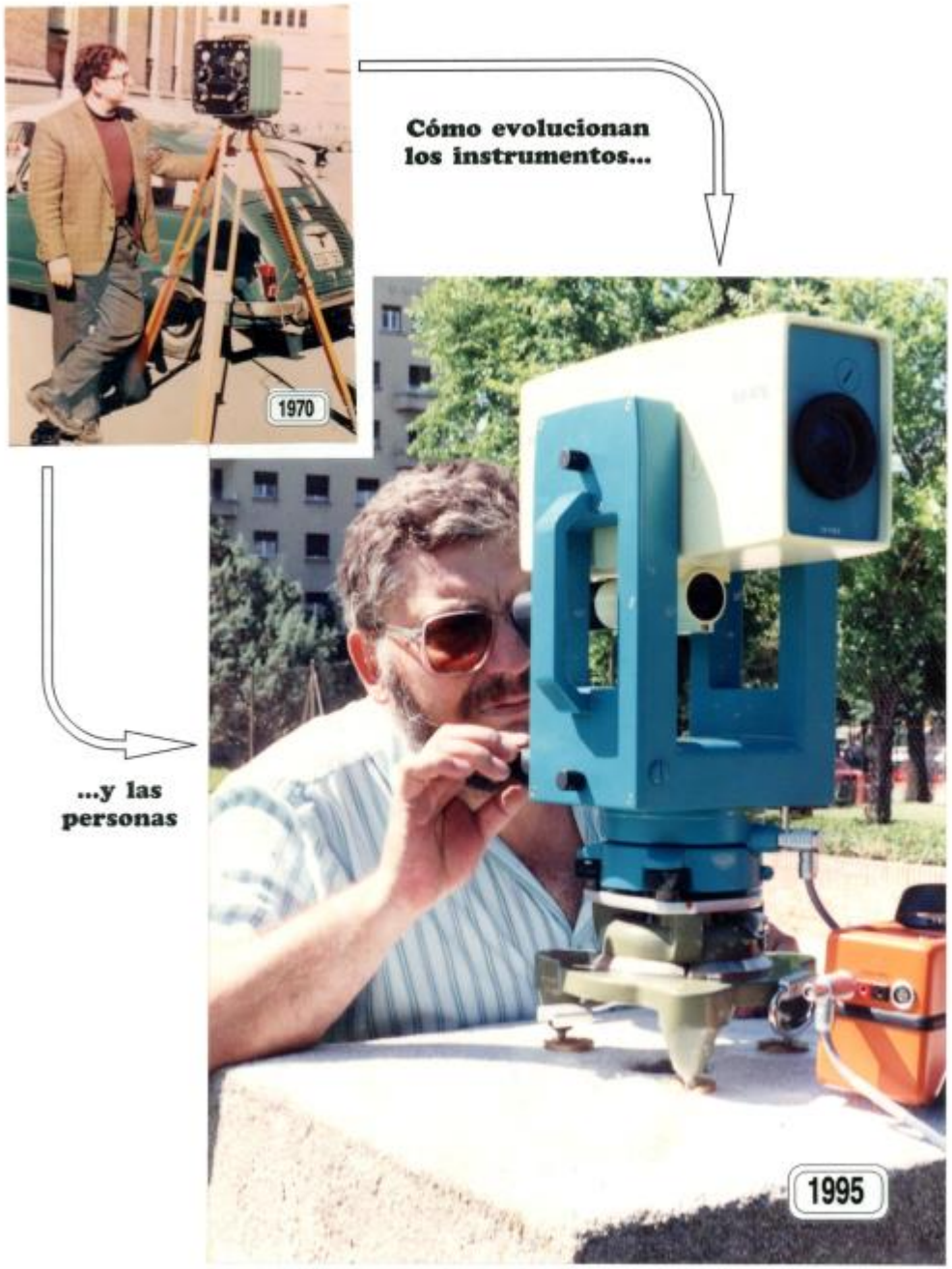
TRIMBLE S6 y
mini prisma

MEKOMETER ME 5000
(1990 - 2000)



Ajuste de constante

EVOLUCIÓN


Cómo evolucionan
los instrumentos...
1970
...y las
personas
1995

Prismas de corona, omnidireccionales o de 360º

LEICA GRZ121

TOPCON A3

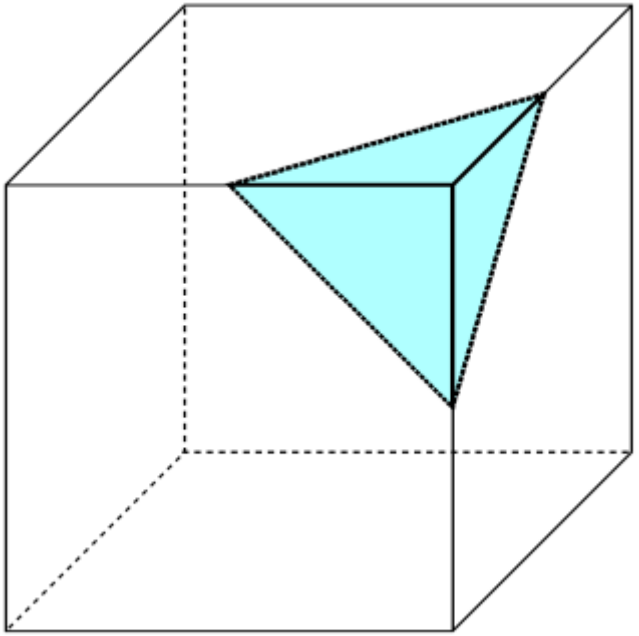
TOPCON A7

TRIMBLE 360º

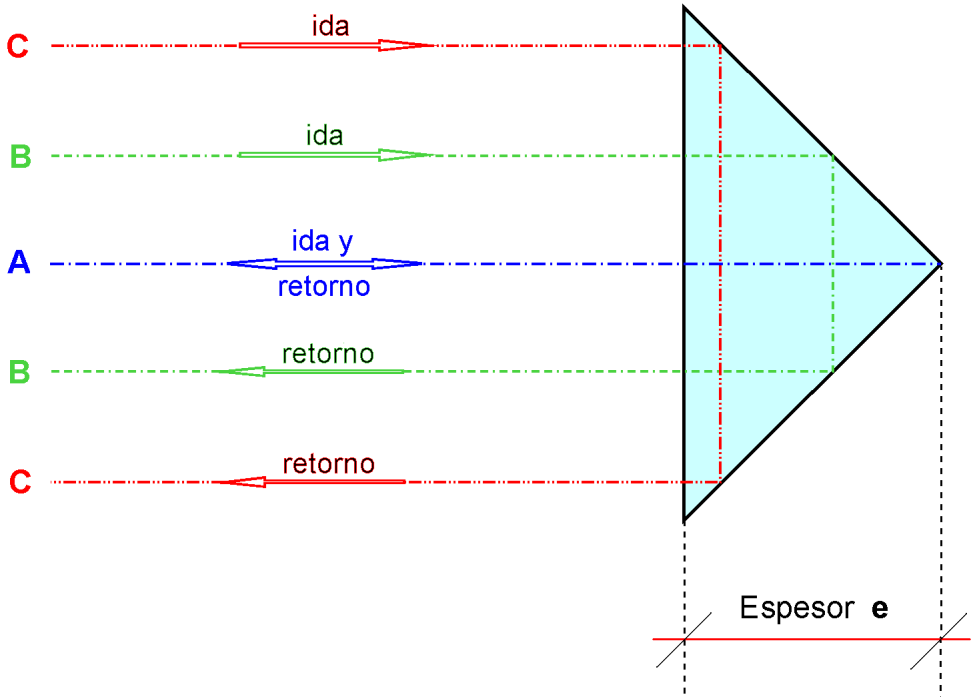
TRIMBLE 360º mini

Estudio funcional del prisma retrorreflectante

Cálculo analítico

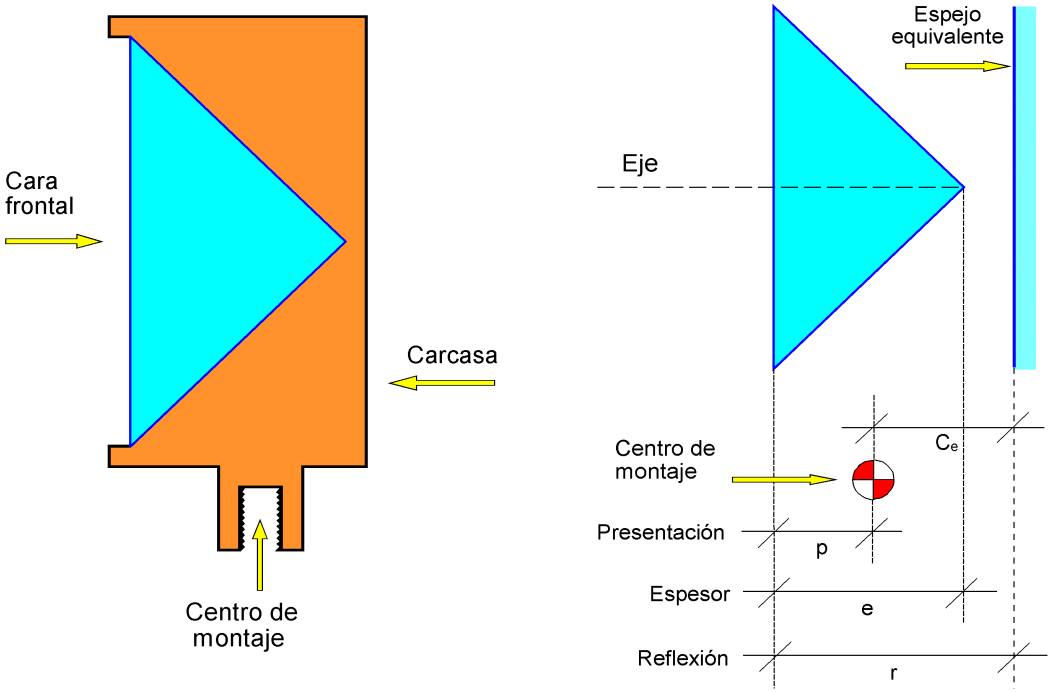


Cálculo analítico de la constante del prisma *corner cube* (triedro trirrectángulo)



Cualquier rayo con incidencia normal recorre el doble del espesor e

Cálculo analítico



La posición del teórico espejo equivalente depende del espesor e y del índice de refracción n relativo aire/vidrio, para la λ de la portadora usada.

Reflexión r es la distancia entre la cara de incidencia y el espejo: $r = n \cdot e$

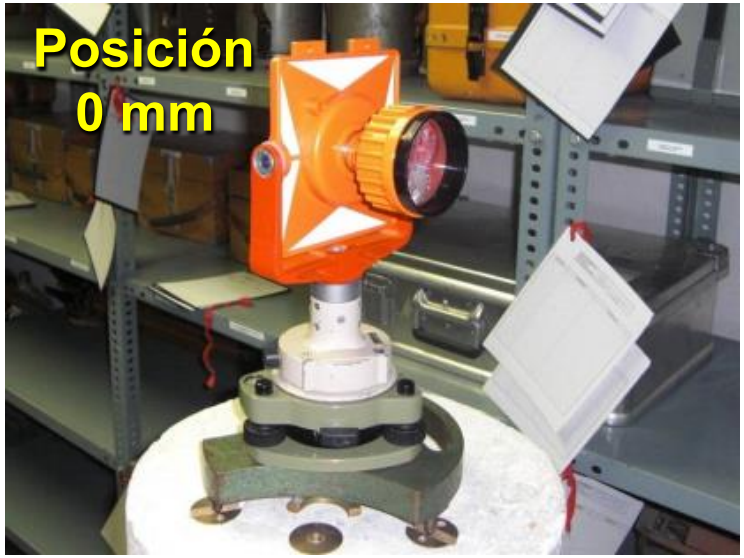
Presentación p es la distancia entre la cara de incidencia y el eje de estacionamiento

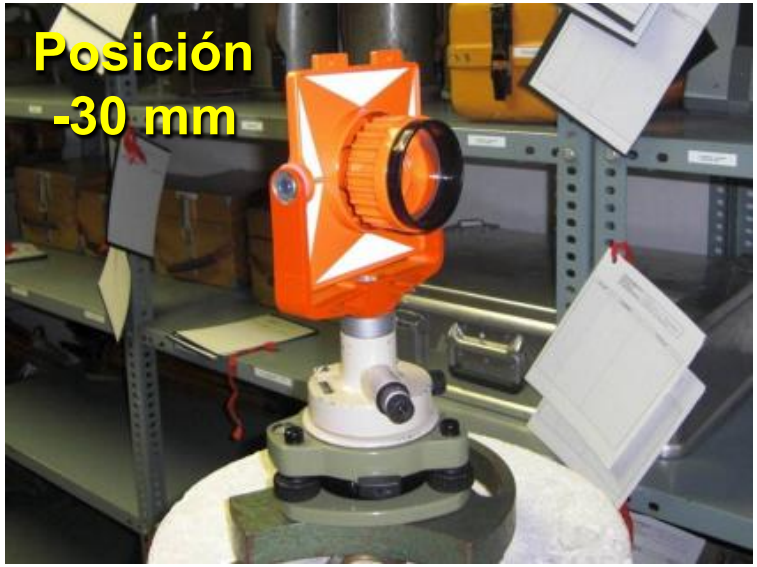
El exceso E_r de recorrido es el error de la medición en el prisma: $E_r = r - p = n \cdot e - p$

La constante del prisma C_p es el error E_r con signo contrario: $C_p = -E_r = p - n \cdot e$

Medición física del espesor e de un prisma

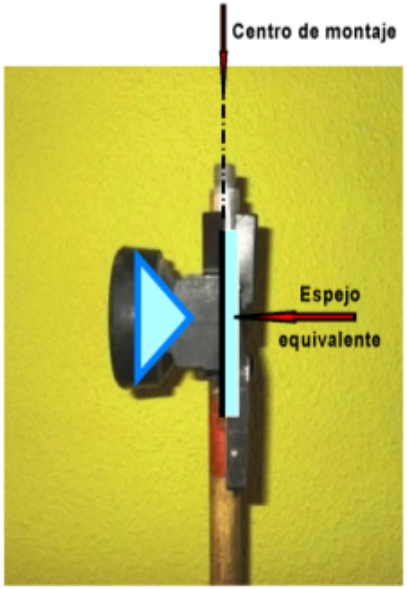
Presentaciones de prismas





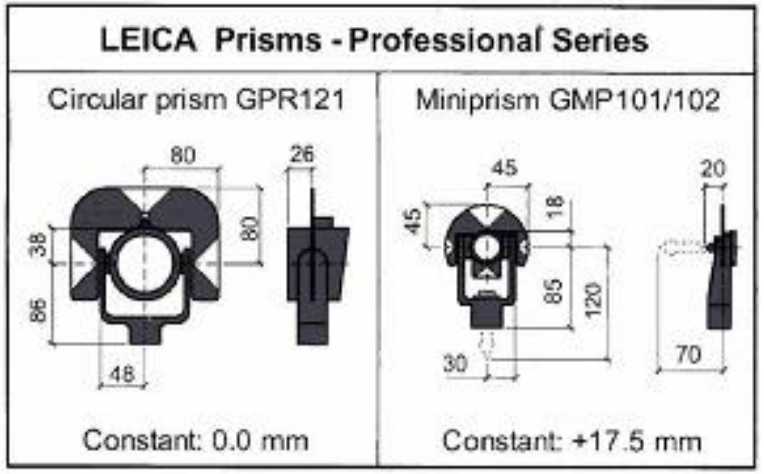
Presentación 0 mm

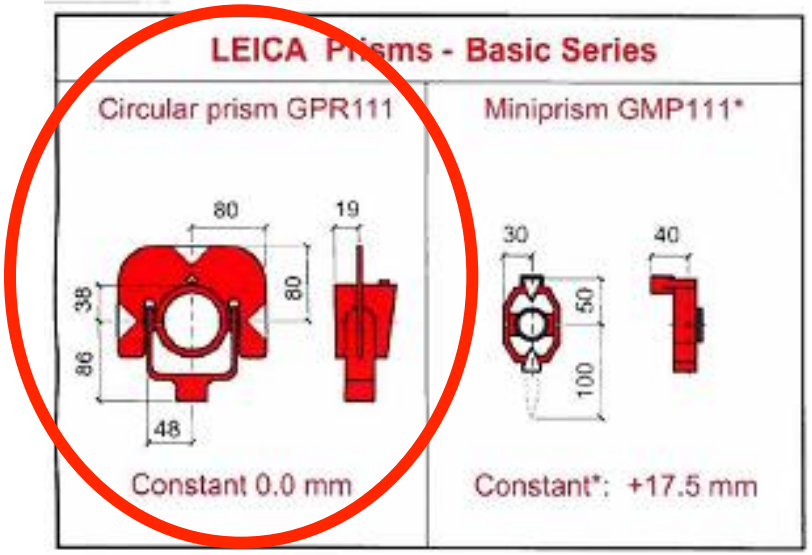
Usada por Geodimeter y Trimble

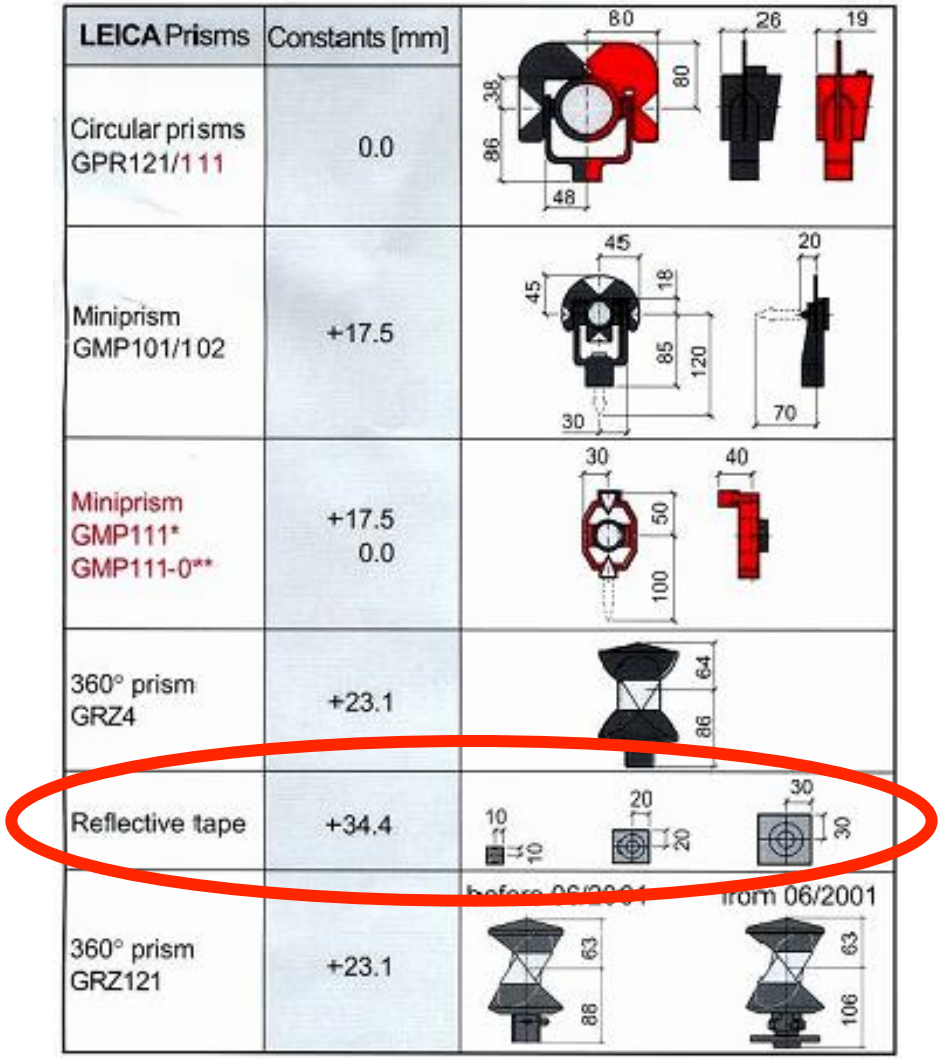


Información oficial de LEICA sobre sus prismas

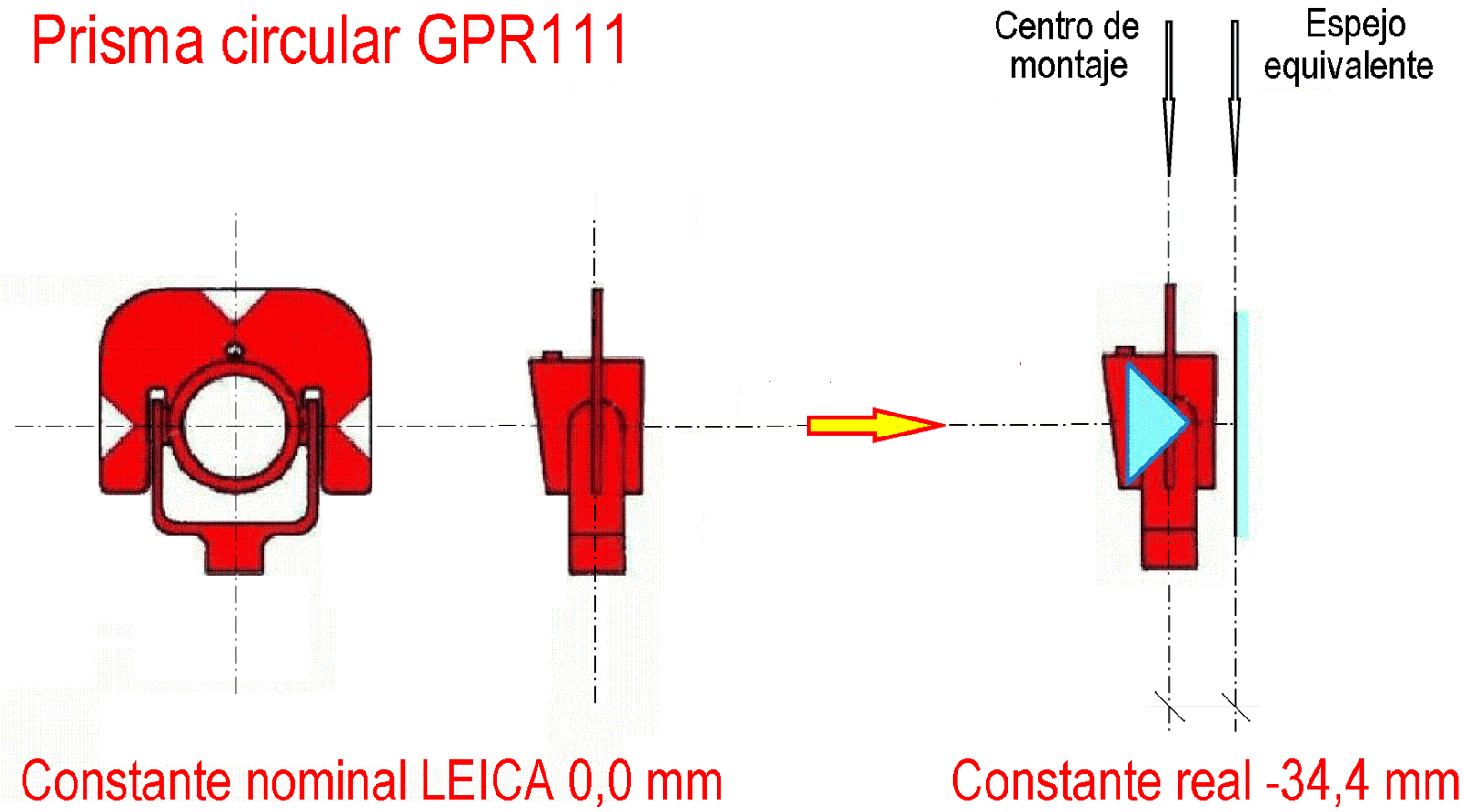
El manual de las ET de LEICA dice textualmente: «Usando los prismas originales de este equipo la constante a aplicar es cero».



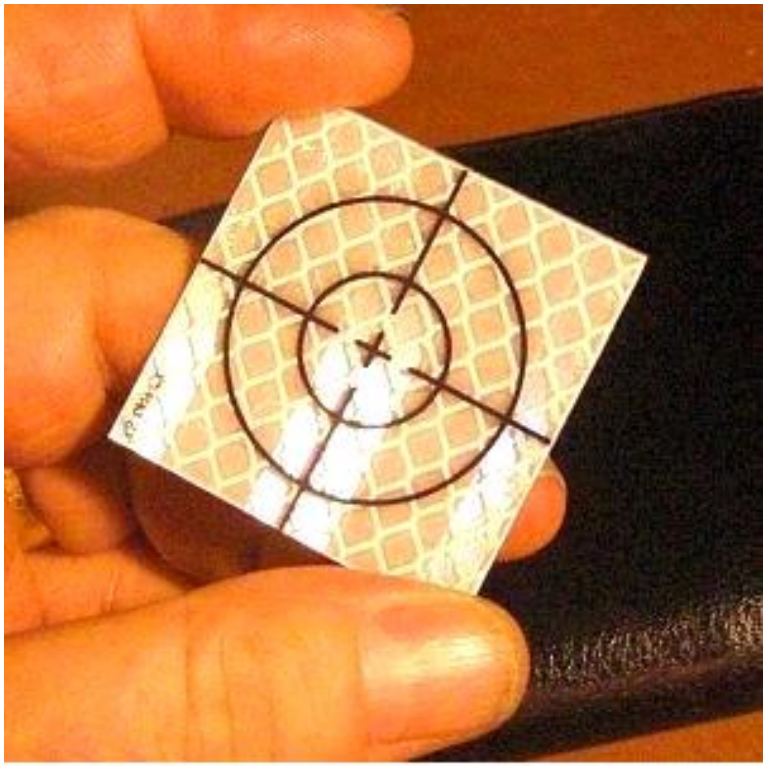


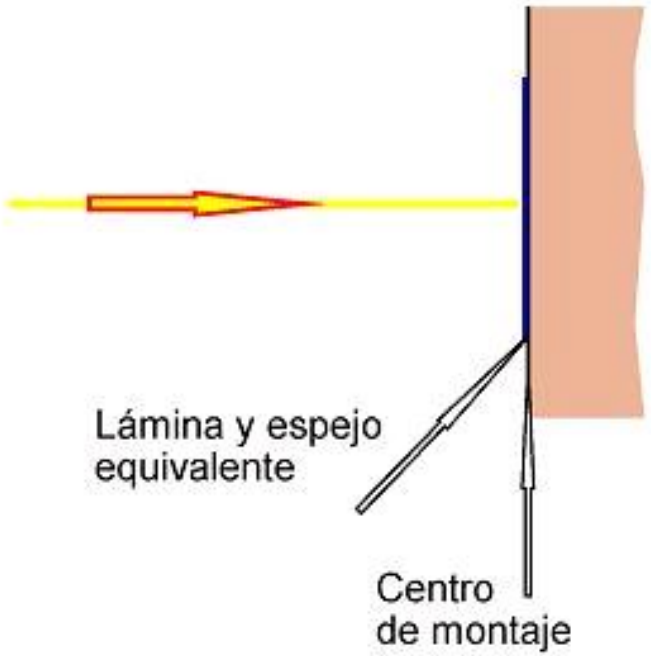


Información oficial de LEICA sobre sus prismas



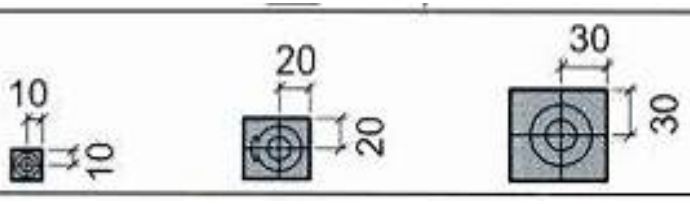
Información oficial de LEICA sobre sus prismas



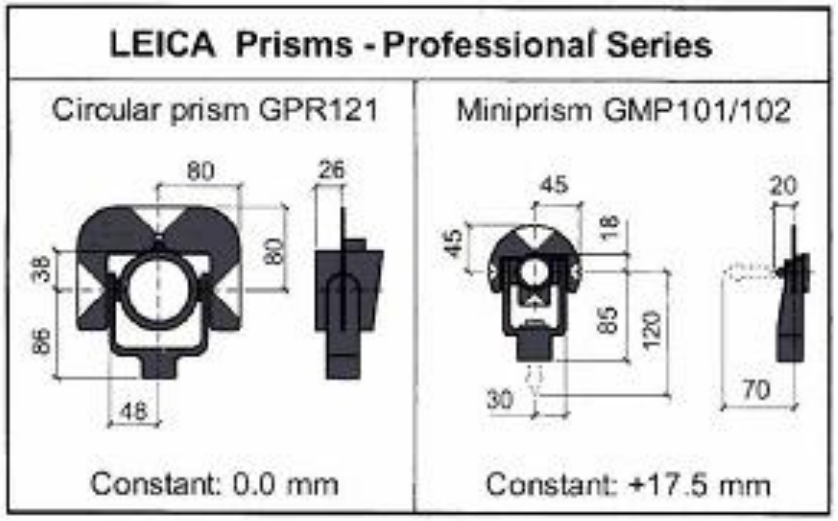


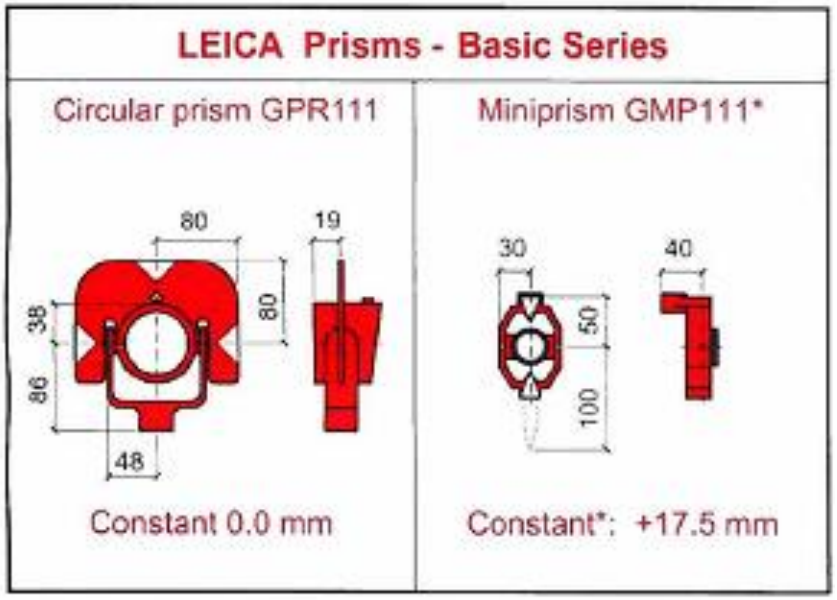
Constante nominal Leica 34,4 mm

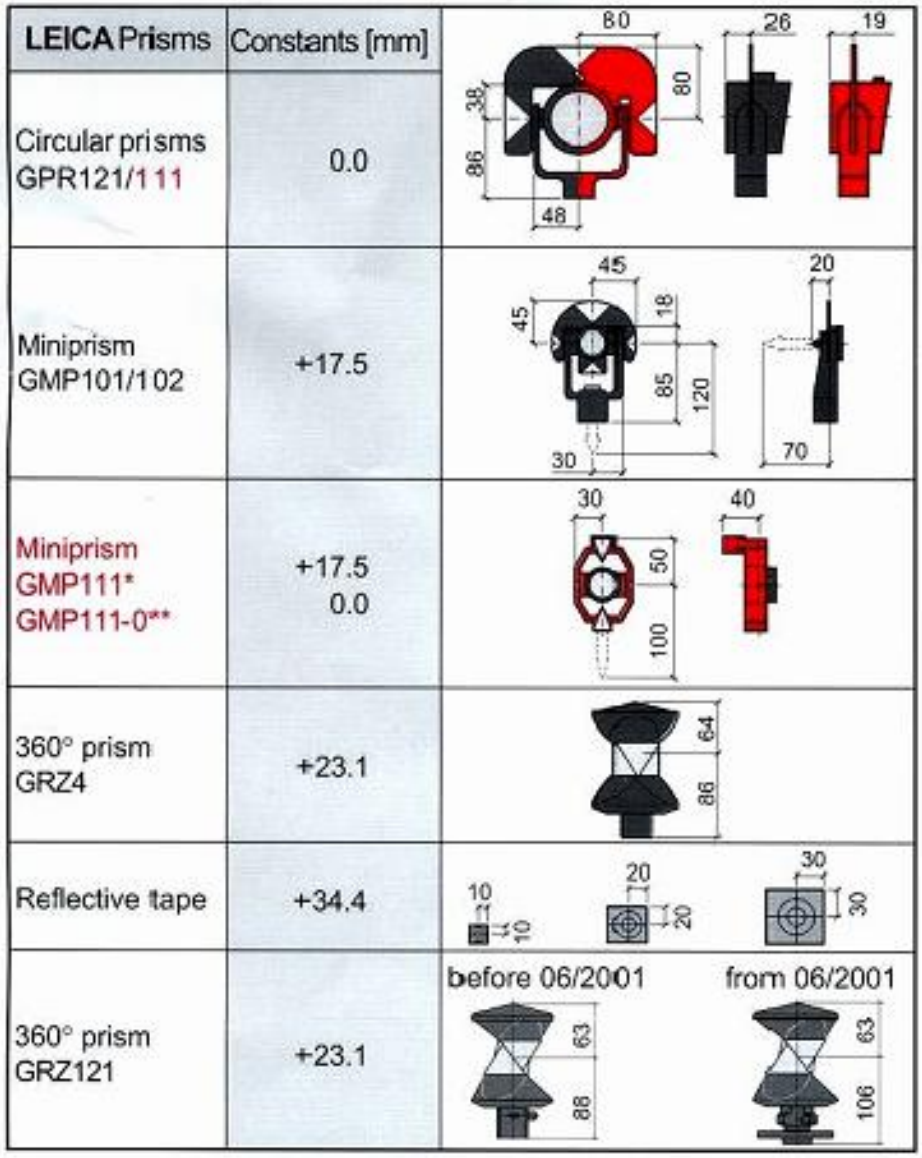
Constante real 0,0 mm

Reflective tape	+34.4	

Información oficial de LEICA sobre sus prismas







Problemática de compatibilidad prismas ⇔ ET entre LEICA y otras marcas

Para usar prismas LEICA con una ET de otra marca, la C_e no será su valor «cero» nominal, sino la constante verdadera (-34,4 mm).

Para usar prismas de otra marca con una ET LEICA, la C_e será la diferencia entre la constante verdadera de un prisma original LEICA (-34,4 mm) y la verdadera del de la otra marca que se use.

¡IGNORAR ESTO HA CAUSADO MUCHOS PROBLEMAS!

Bases Väisälä

El profesor Väisälä de la Universidad finlandesa de Turku presentó en 1923 su método de medición de distancias por medio de un comparador interferencial de luz no monocromática; realmente, un multiplicador óptico de distancias.

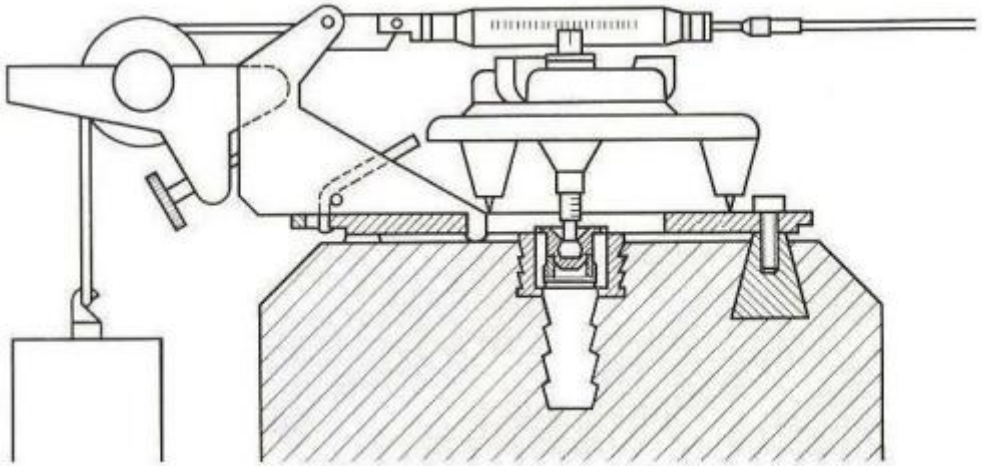
En 1927 se perfeccionó con la introducción de patrones dimensionales de cuarzo (barras de 1 m con extremos hemisféricos).

En 1947 Honkasalo y Kukkamaki establecieron y midieron la base de Nummela en Finlandia, de 864 m (no horizontal), con precisión de ± 0,05 mm (~0,06 ppm).

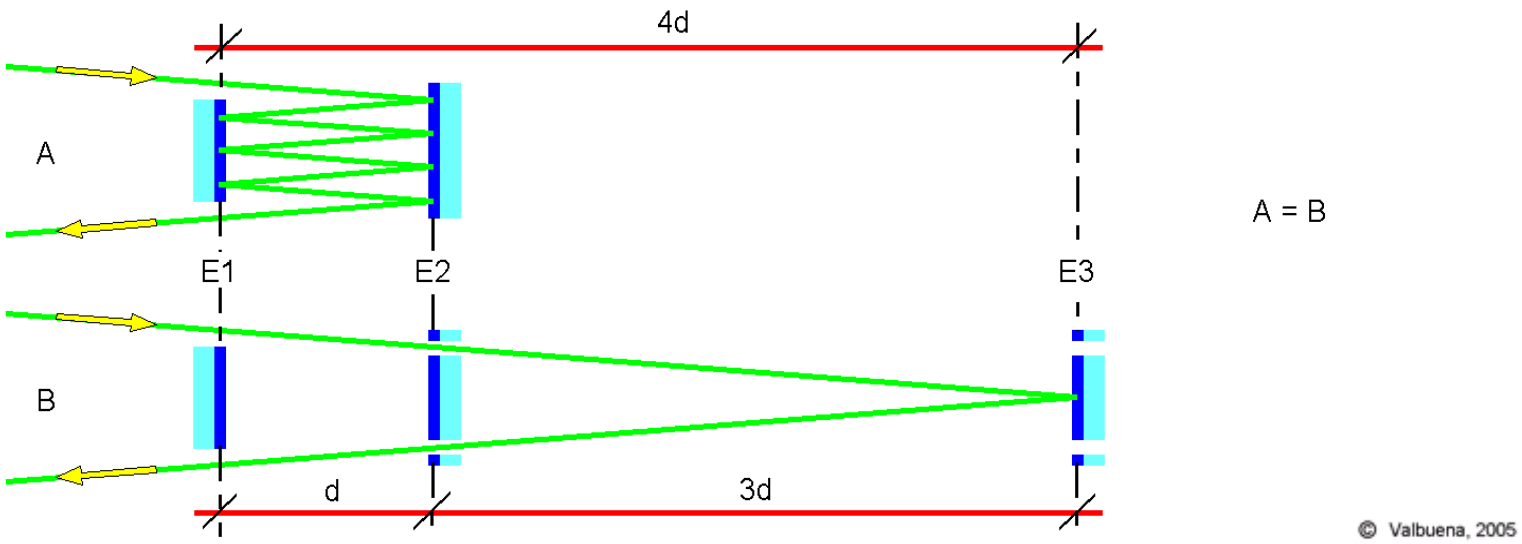
La Unión Geodésica y Geofísica Internacional (U.G.G.I.) resolvió en 1954 normalizar la Red Europea de Triangulación, aconsejando establecer en cada uno de los países una base Väisälä.

En ellas se contrastarían los hilos invar empleados entonces para medir bases geodésicas, garantizando así una escala uniforme en las redes nacionales de todos los usuarios.

Hilos invar



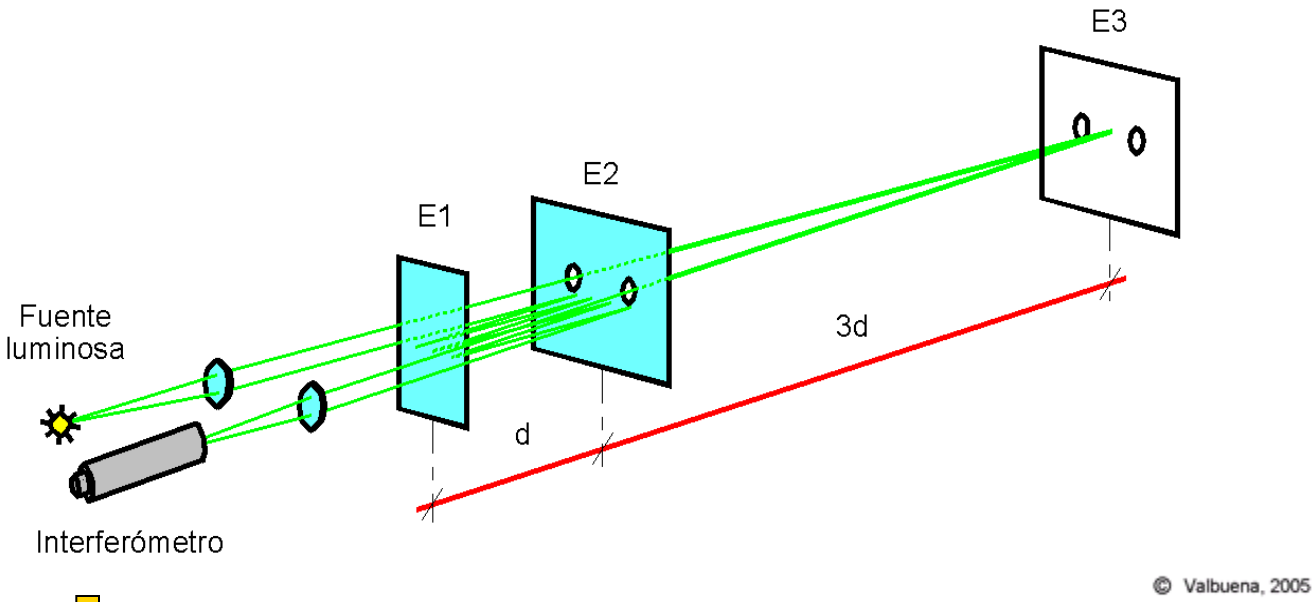
Comparador interferométrico Väisälä de luz blanca

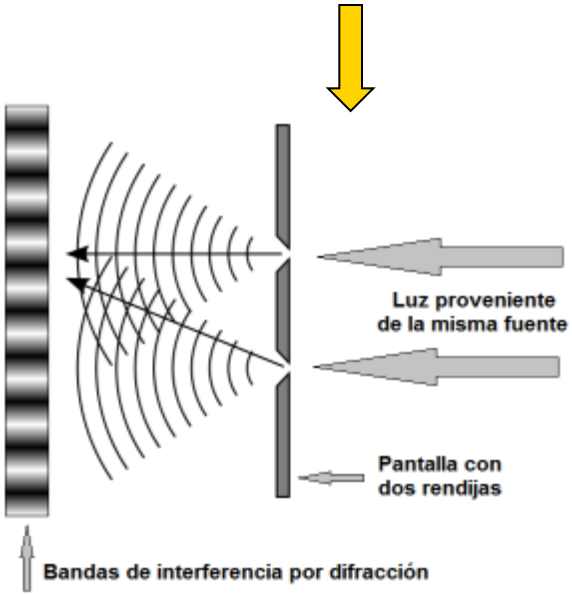


Hay dos caminos ópticos provenientes de la misma fuente de luz blanca, multicromática.

Desplazando longitudinalmente el espejo E3 hasta que la distancia E1 - E3 sea 4 veces mayor que E1 - E3 se consigue que los caminos ópticos A y B sean iguales.

Comparador interferométrico Väisälä de luz blanca





Se colima cada uno sobre una de las dos rendijas iguales de un interferómetro por difracción de Fraunhoffer

Cuando los dos caminos son iguales (variando la posición de E3) se forman las bandas de interferencia de Fraunhoffer.

Base VÄISÄLÄ
Lineal Multipunto
interferométrica, del IGN

Construida en Valladolid,
en 1978

Base Väisälä española

En 1975 el IGN mandó construir una base Väisälä en Valladolid.

En 1978 se terminó, quedando oficialmente operativa.

Cuando la base se construyó ya no se utilizaban los hilos invar porque habían sido substituidos por la EDM geodésica.

Electrotape,1960

Tellurometer MRA3, 1969

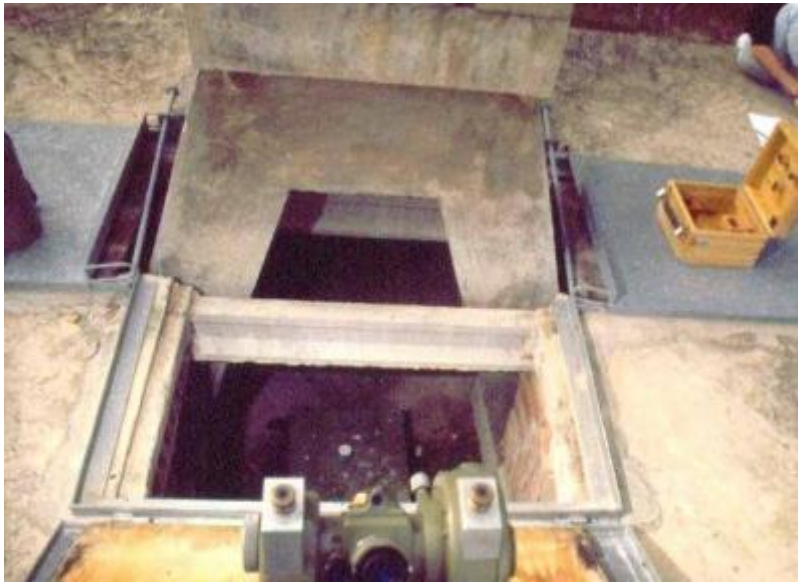
AGA 8, 1969

Nunca se ha verificado en esta base un hilo invar.

Sólo se han verificado los EDM del Estudio Geodinámico del Estrecho de Gibraltar (1980), el ME-5000 del CSIC, cuando se adquirió en 1989, y, ocasionalmente, algún que otro EDM de precisión ordinaria.

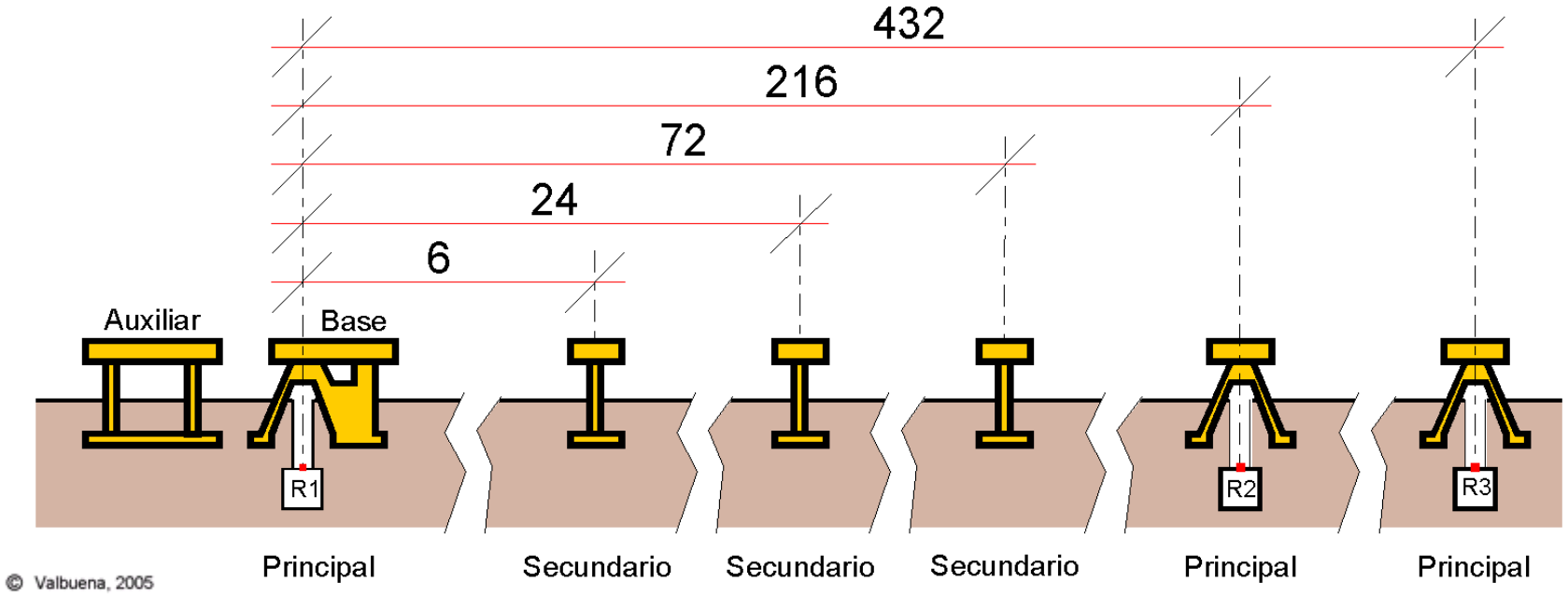
Base Väisälä española

Pilar principal 0 m (y auxiliares)



Señal R bajo pilar, a 1,50 m de profundidad

Base Väisälä española



R1 a R2 = 216 009,83 ± 0,05 mm

R1 a R3 = 431 990,83 ± 0,05 mm.

Señal R bajo pilar, a 1,50 m de profundidad

Base Väisälä española

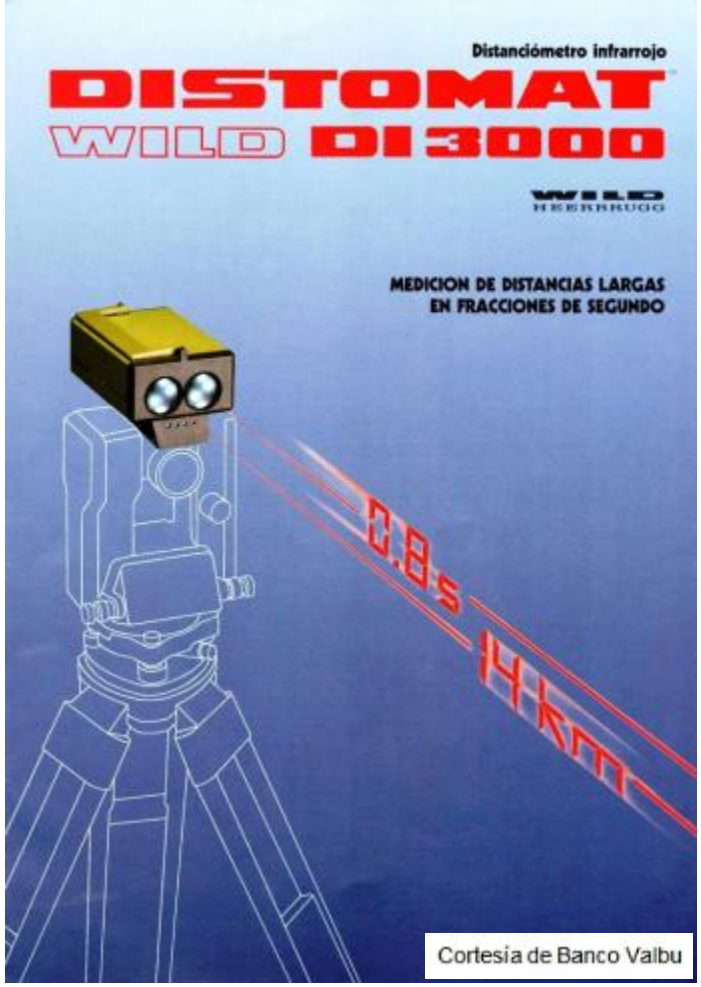
La zona ha sufrido una severa deforestación.

La Base nunca se ha remedido (recomendado cada 2 años).

En 1990, durante la verificación del ME-5000, se detectó que el pilar principal 0 se había desplazado 1,53 ± 0,21 mm hacia las otras señales.

25 días después se repetió la verificación con el mismo resultado.

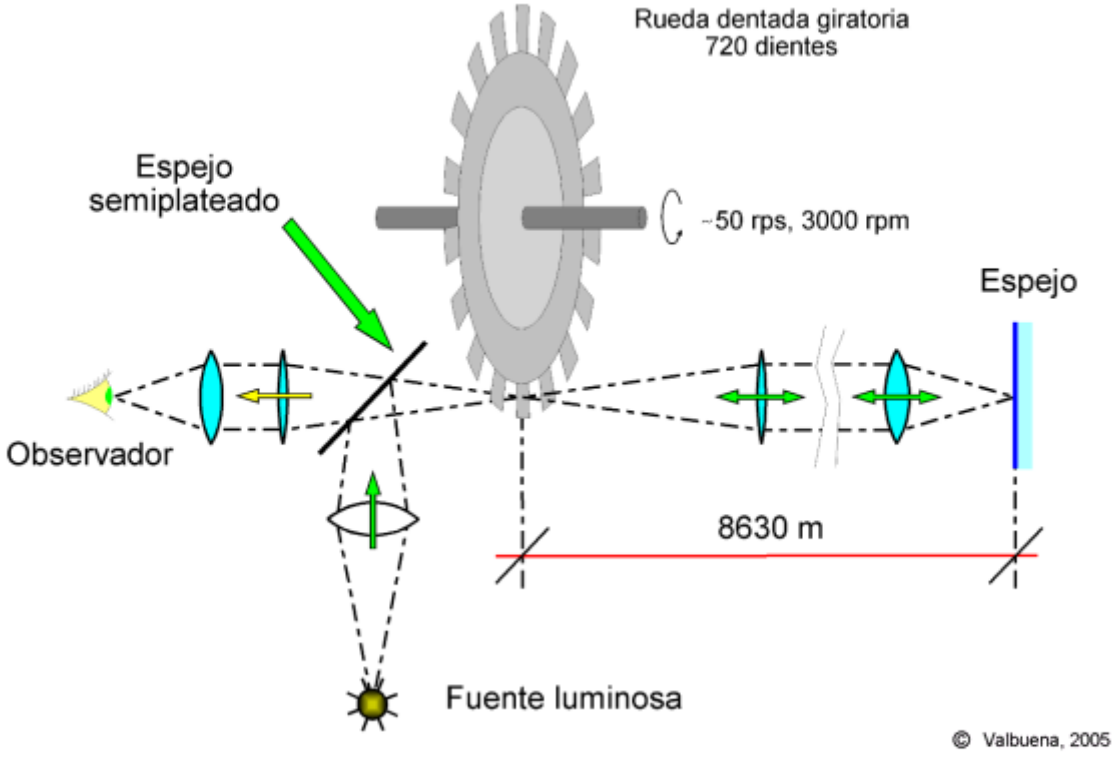
En la siguiente verificación de un EDM por el IGN, concretamente de un WILD DI-3000, se confirmó el desplazamiento.



1989

Evolución de la EDM

En 1849, Fizeau, conociendo una distancia, quería medir la velocidad de la luz



En terminología moderna, el invento es comparable a un EDM con las siguientes características:

Onda portadora: haz de luz visible

Modulación: en amplitud (pulsante)

Modulador: mecánico

Frecuencia de modulación: variable según velocidad de giro de la rueda

Detector de la señal de retorno: ojo humano

Detección de la fase: subjetiva

Comparación con el retorno: método de puntos nulos

EDM pionero de Bergstrand

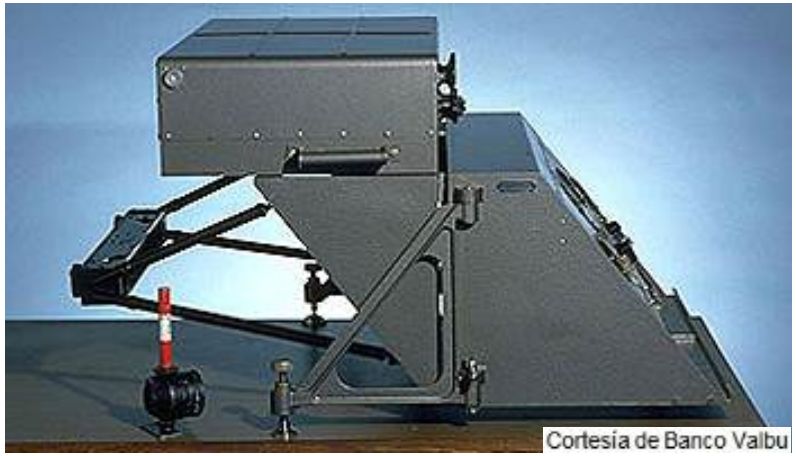
Basándose en el principio de Fizeau, Erik Bergstrand, del Geographical Survey de Suecia, inventó en 1947 un instrumento para medir la velocidad de la luz empleando técnicas electrónicas.

Invirtiendo el planteamiento, pronto intentó aplicarlo para la medición de distancias, dando por conocida la velocidad de la luz.

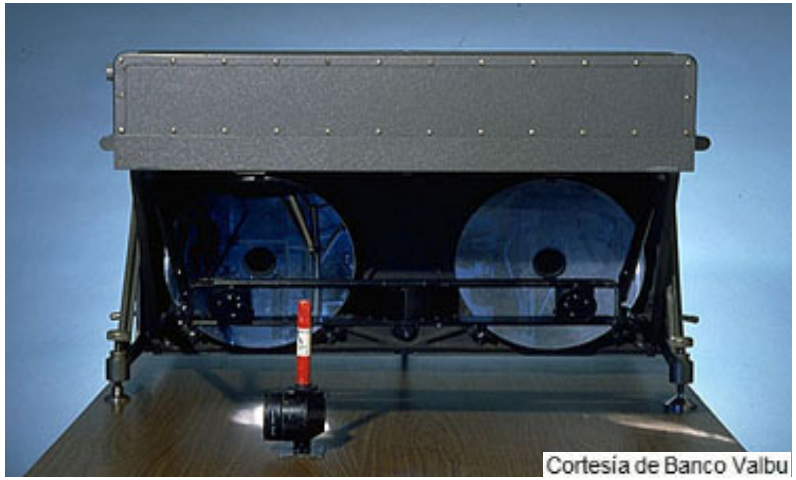
La invención del GEODIMETER (GEOdetic DIstance METER, Distanciómetro Geodésico) inició la era de la medición electrónica de distancias. El primero se construyó en 1949 y se comercializó en 1953.

La invención del GEODIMETER inició la era de la medición electrónica de distancias. El primero se construyó en 1949 y se comercializó en 1953.

Con alcance inferior a 50 km y peso de 100 kg, tardaba en medir entre 2 y 3 horas (más otra hora para calcular el valor de la distancia).



AGA
GEODIMETER NASM-2A
Modelo de 1959



En 1957 el Dr. T. L. Wadley, del National Telecomunications Research Laboratory, de Sudáfrica, inventó el TELLUROMETER, basado en la tecnología del RADAR, que medía distancias modulando una portadora de microondas.

Con alcance de hasta 150 km, los EDM de microondas empezaron a usarse para establecer la escala de las redes geodésicas.

Los hilos invar ya quedaron en desuso.

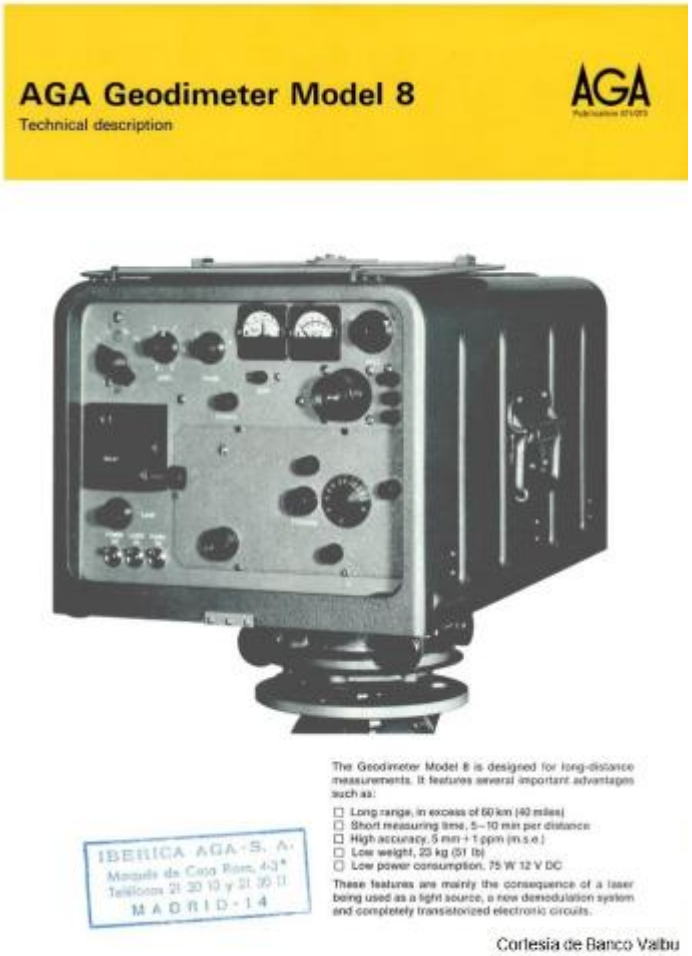
TELLUROMETER MRA-1 de 1959

EDMs en la Base Väisälä

IGN, servicios generales auxiliares.

1975

EDMs en la Base
Väisälä



AGA Geodimeter Model 8

Technical description

AGA

The Geodimeter Model 8 is designed for long-distance measurements. It features several important advantages such as:

- Long range, in excess of 60 km (40 miles)
- Short measuring time, 5–10 min per distance
- High accuracy, 5 mm + 1 ppm (m.s.e.)
- Low weight, 23 kg (51 lb)
- Low power consumption, 75 W 12 V DC

These features are mainly the consequence of a laser being used as a light source, a new demodulation system and completely transistorized electronic circuits.

IBERICA AGA-S. A.
Marqués de Casa Riera, 4-3°
Teléfonos 21 30 10 y 21 30 11
MADRID-14

Cortesía de Banco Valbu

1970

IGN, medición de lados geodésicos.

EDMs en la Base Väisälä

RANGEMASTER® III Range: more than 40 miles (60km)

SPECIFICATIONS

Range: 40 mi. (60km)[1]

Accuracy:
± (0.02 feet + 1ppm) root mean square error
± (5mm + 1ppm) root mean square error
from +20°F ÷ 110°F (−6°C to + 43°C)

± (0.04 feet + 1ppm) m
± (10mm + 1ppm) root mean square error
from −20°F to + 20°F (−28°C to −6°C) and
from +110°F to + 130°F (+ 43°C to + 54°C)

Resolution: 0.01 ft. (1mm) least count

Distance Readout: Automatic 8-digit numerical display

Units of Measurement: Feet or meters, selectable by switch

Measuring Time: A few seconds

Oscillator: Oven controlled; accurate to 0.1ppm (20 minutes warm up)

Light Source: helium-neon laser: 632.8nm wavelength

Operating Temperature: −20°F to +120°F (−28°C to +40°C)

Vertical Tilt: ±45°

Power Requirements: 12 Vdc at 5 amps

Telescope: 30X, illuminated for night use

Dimensions: 12.5 x 8 x 17 in. (31.7 x 20.8 x 43.4 cm)

Weight: Approx. 55 lbs. (25 kg)

Equipment: Sturdy ABS carrying case with foam inserts; Atmospheric Correction Calculator; 8-foot power cable (2.4m); large tribrach; heavy duty extension leg tripod; instruction manual; operator's security key; auxiliary night light; linearity graph.

Prisms: Not furnished with instrument. Prism recommendation for 40 mile ranging, 30 prisms (15 ea. 76 0806)

Manufactured in conformance with radiation safety data requirements. Specifications subject to change without notice.

76 0354 RANGEMASTER® III—Extended Long Range EDM: consists of single unit design for tripod mounting. The instrument comes complete with heavy duty Tribrach (76 0352) and heavy duty type aluminum Tripod (73 0720).

The RANGEMASTER III unit can truly be considered a multipurpose piece of EDM equipment. It encompasses all of the features of a short distance instrument with one that can measure ranges in excess of 40 miles. Still, it is truly a portable device, weighing only 55 pounds and built to operate under the rigors of environmental extremes.

Cortesia de Banco Valbu

1976

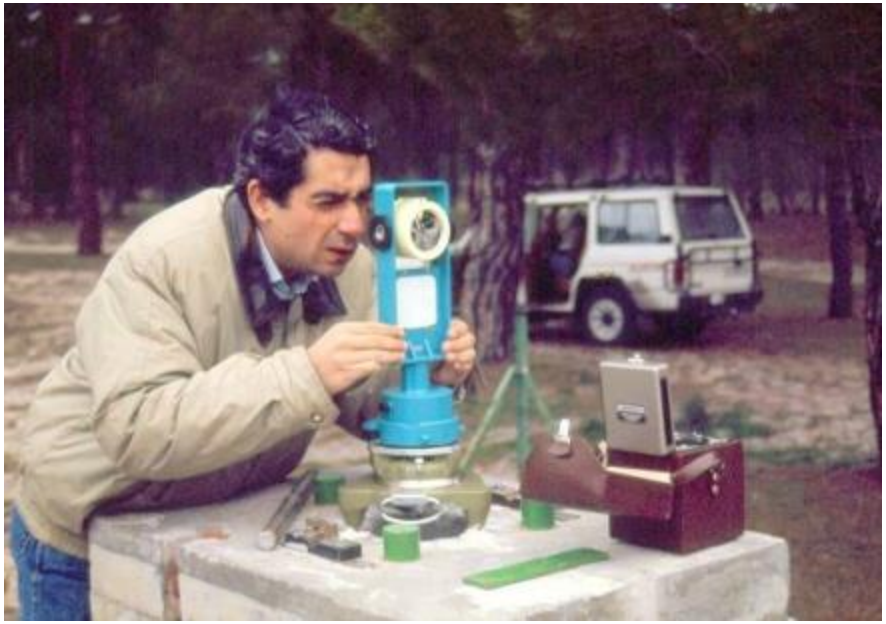
IGN, Red Geodinámica del Estrecho de Gibraltar.

EDMs en la Base
Väisälä

IAG, control de alta precisión (presas).

1986

Datos meteo, punterías y medida



APLICACIÓN PARA EDM ORDINARIOS

Se pueden utilizar los valores nominales para los elementos de una misma marca.

No hay variaciones significativas entre elementos de una misma línea de fabricación, pudiendo intercambiarse instrumentos o prismas por otros del mismo modelo.

Hay prismas reversibles que admiten montaje en constantes reales de 0 y -30 mm. Se debe comprobar que se utilizan con el montaje deseado porque alguien puede haberlo cambiado (sobre todo en trabajos discontinuos y con el material compartido).

Si se mezclan elementos de diferentes marcas debe hacerse una comprobación expedita, en una distancia corta (de 5 m, por ejemplo), por comparación con una cinta métrica.

Continúa en parte IV: Centrado

elvalbu@yahoo.es