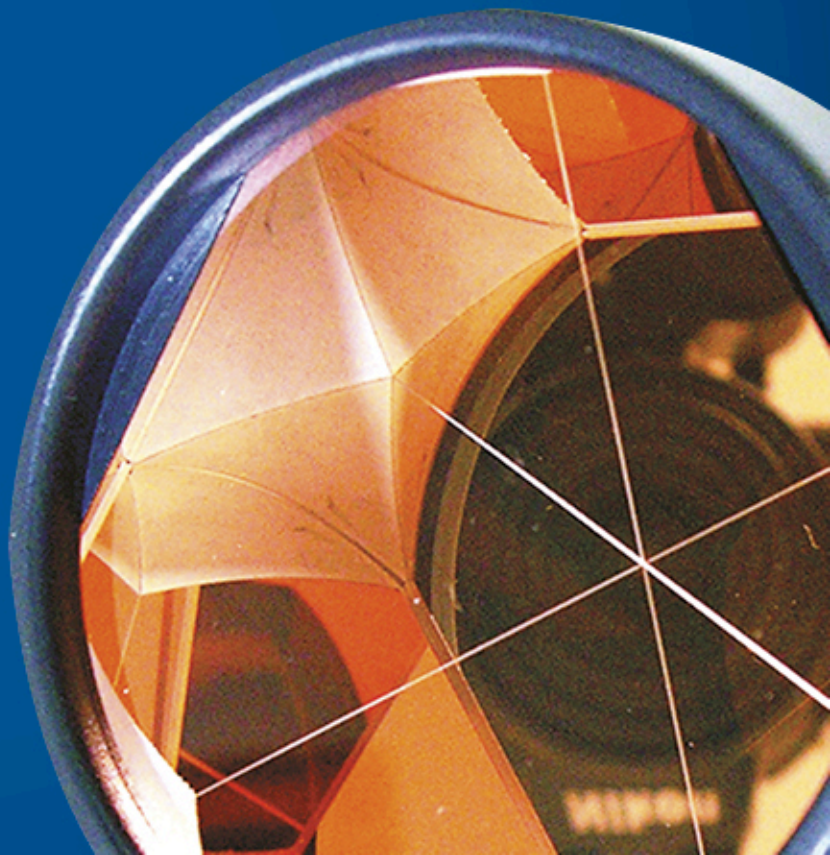
Fuentes de error en EDM V (Otras)



Autor:
José Luis Valbuena

Fuentes de error en EDM

V (otras)

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)

Aquí se tratarán la curvatura de la trayectoria, la puntería incorrecta al reflector el error cíclico.

Curvatura de la trayectoria

Error proporcional a la distancia (no linealmente)

Estudio de refracción

En el año 1997 se hizo un PFC sobre itinerarios altimétricos entre la Bola del mundo y Navacerrada.

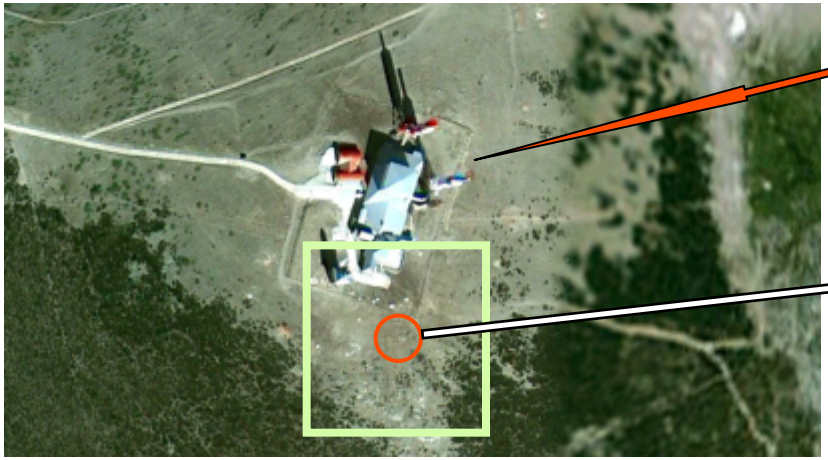
El itinerario empezaba en el Δ de La Bola del Mundo y terminaba en un punto señalizado cerca del embalse de Navacerrada.

Los dos puntos se unieron por itinerarios de NTP de lado corto (~500 m), medio (~1500 m) y un lado único de 7 km. También se determinó altitud con GPS en las estaciones del itinerario de lado medio.

En el lado único de enlace directo se hizo un estudio de refracción durante 24 horas, midiendo distancias con un EDM WILD T3000, cenitales recíprocos y simultáneos con dos teodolitos WILD T2 y tomas metéo con dos termómetros y dos barómetros.

Aquí se muestra la variación de curvatura de la visual por refracción.

Vistas satélite

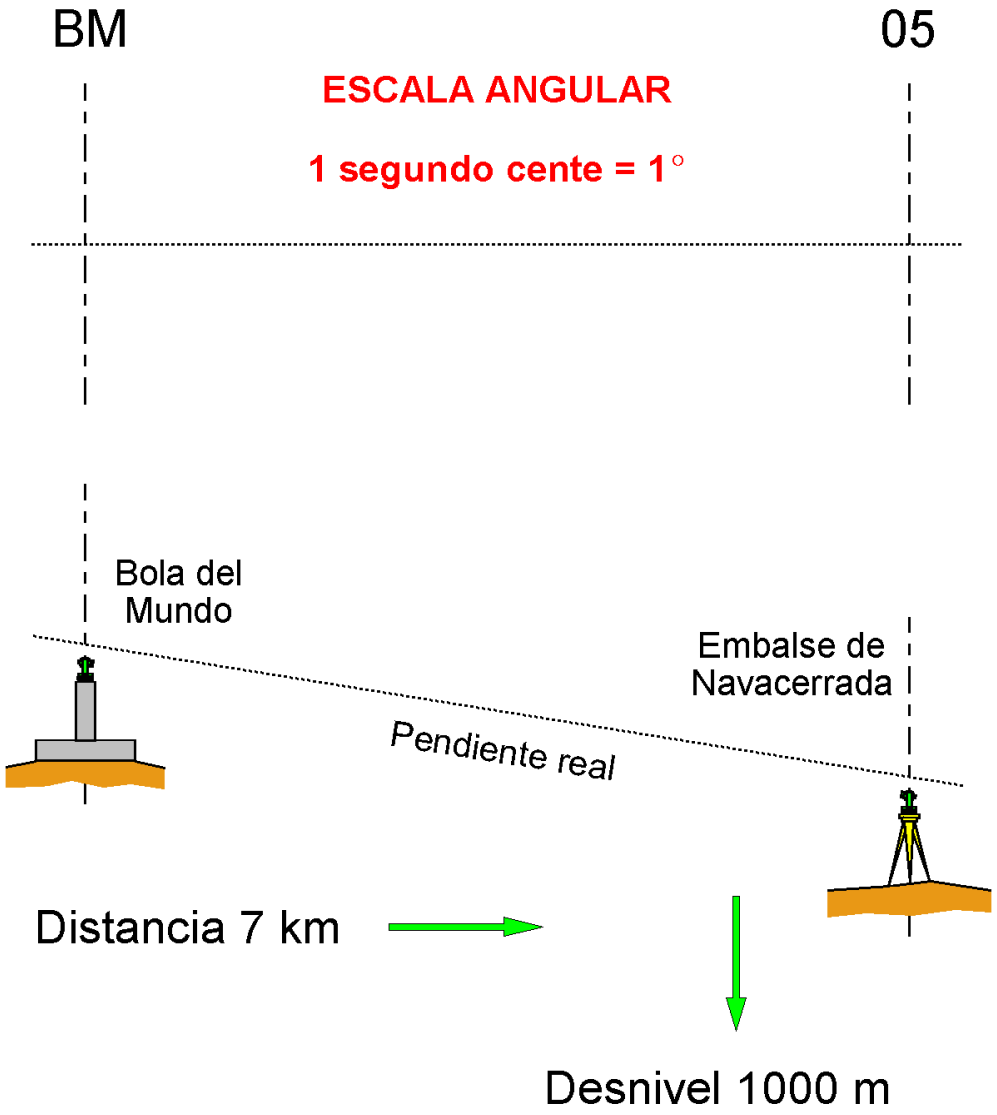


La Bola del Mundo

Embalse de Guadarrama

Estudio 24 h

ALZADO



En la imagen están los datos fundamentales de escala, pendiente y dimensiones.

© JOSÉ LUIS VALBUENA, 1998

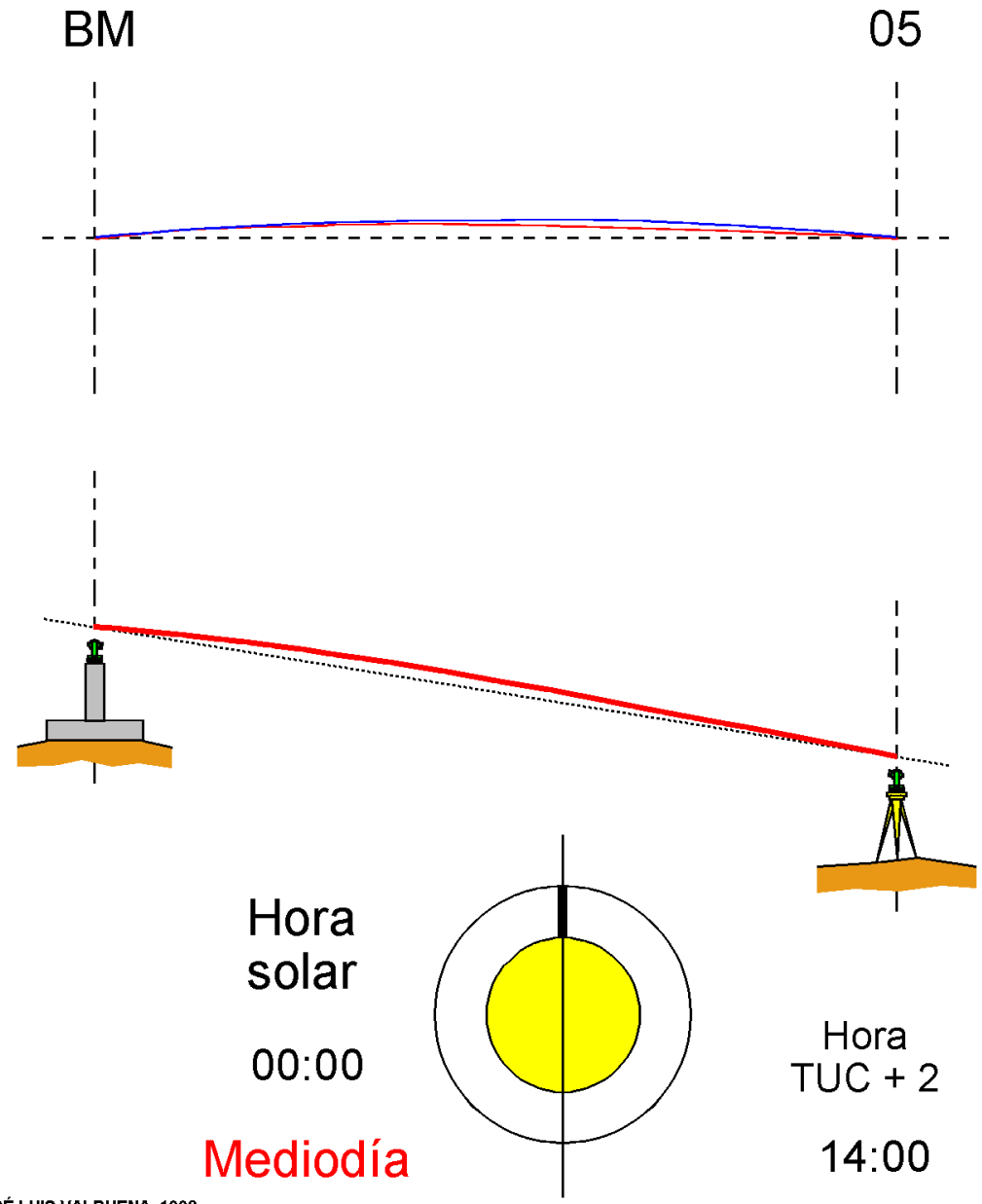
Estudio 24 h

Comienzo a mediodía solar

Son las 0:00 horas solares cuando el Sol pasa por el meridiano local.

TUC + 2 es la hora civil (de reloj) de verano.

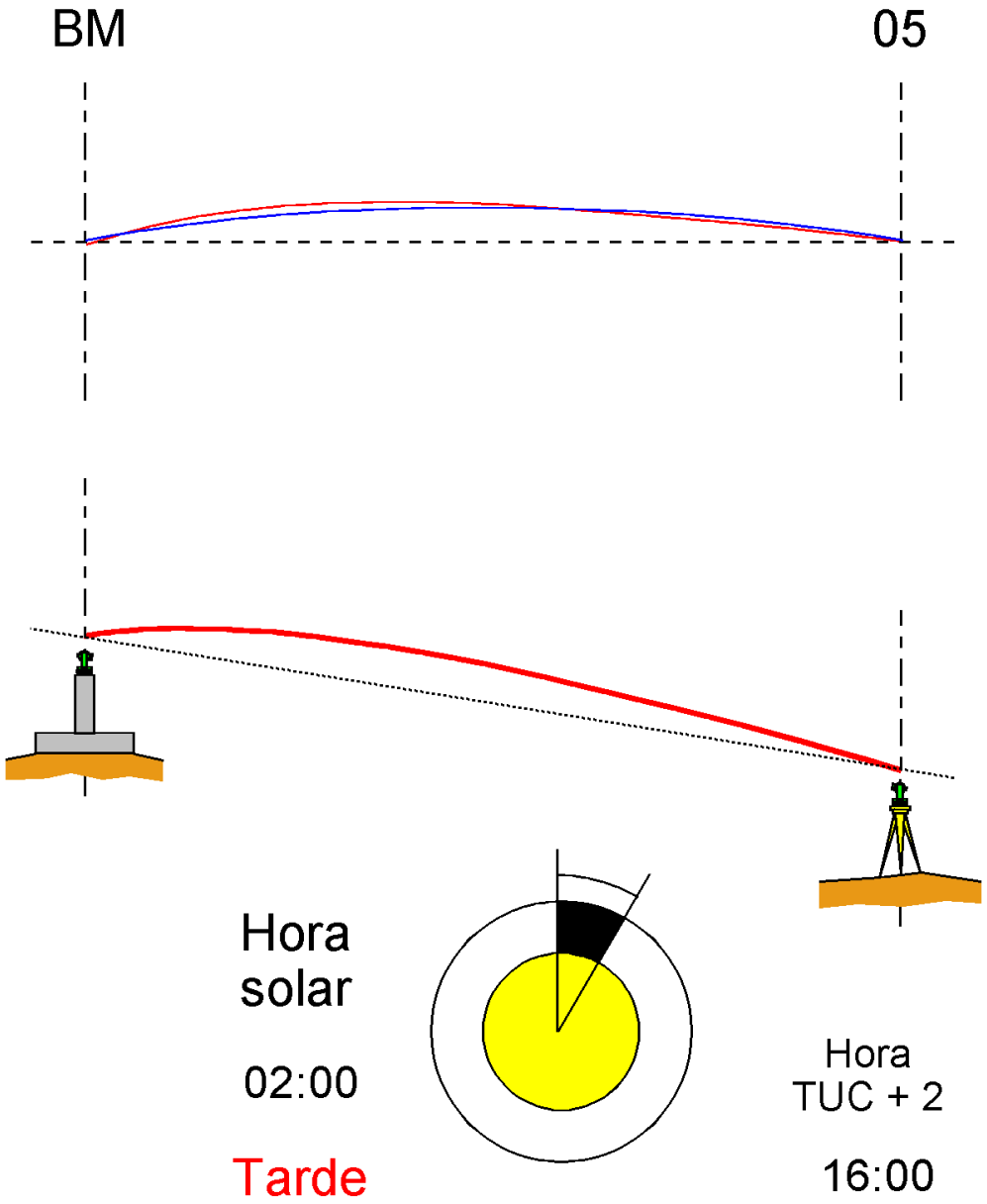
Como está a una Φ de 4º W, hay un retraso de 22 min en la hora solar local, pero se desprecia.



© JOSÉ LUIS VALBUENA, 1998

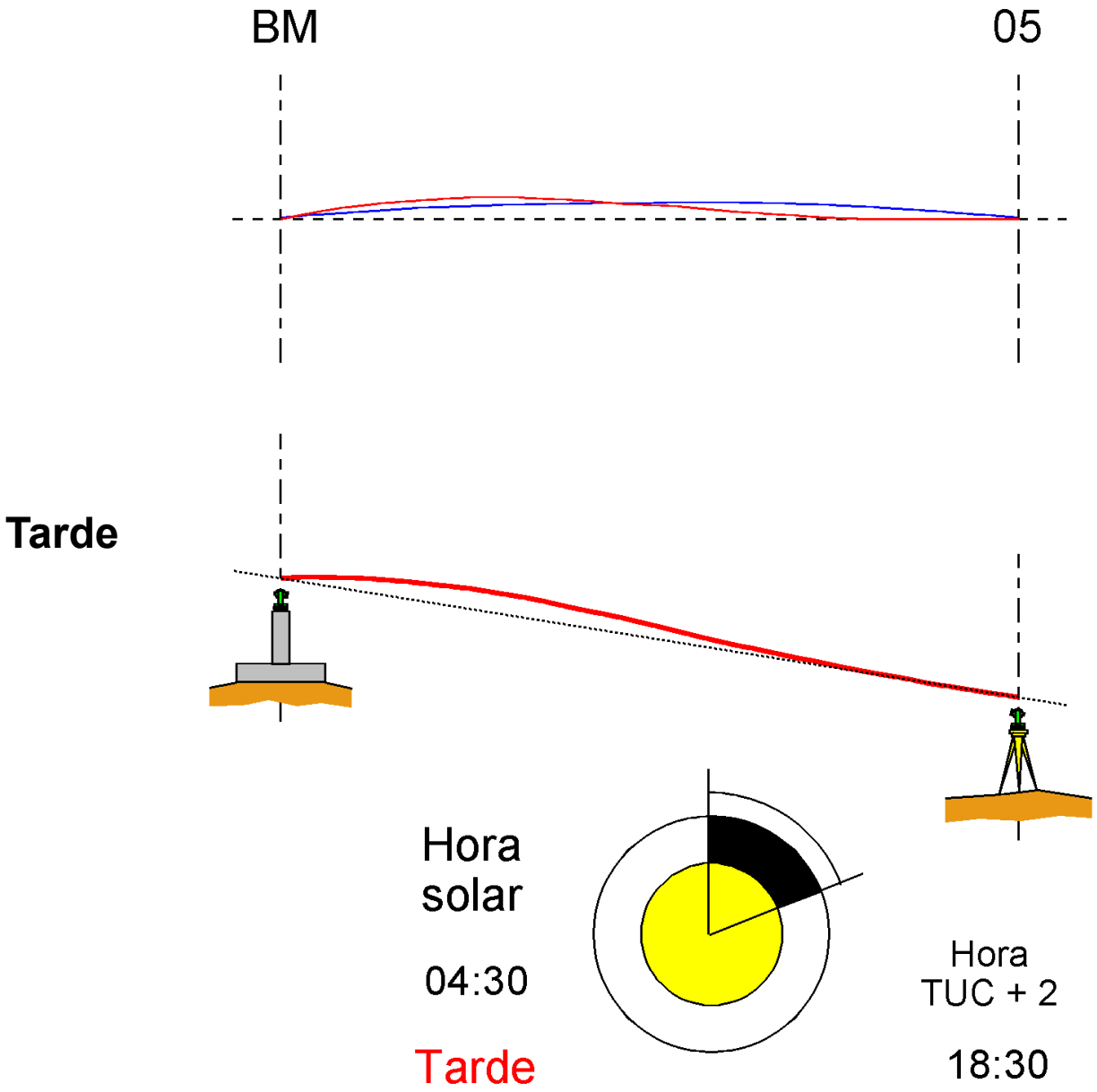
Estudio 24 h

La hora de la siesta



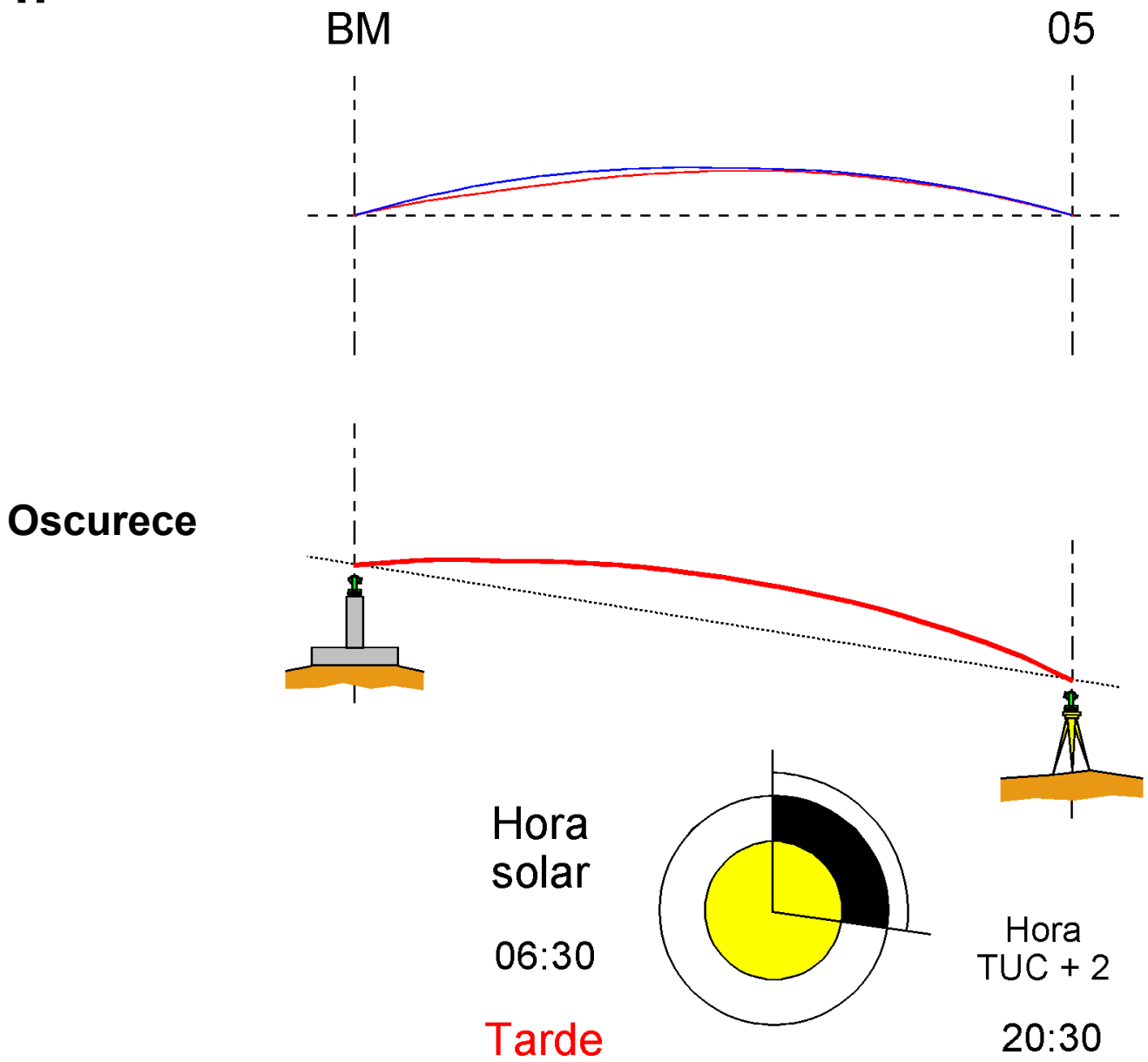
© JOSÉ LUIS VALBUENA, 1998

Estudio 24 h



© JOSÉ LUIS VALBUENA, 1998

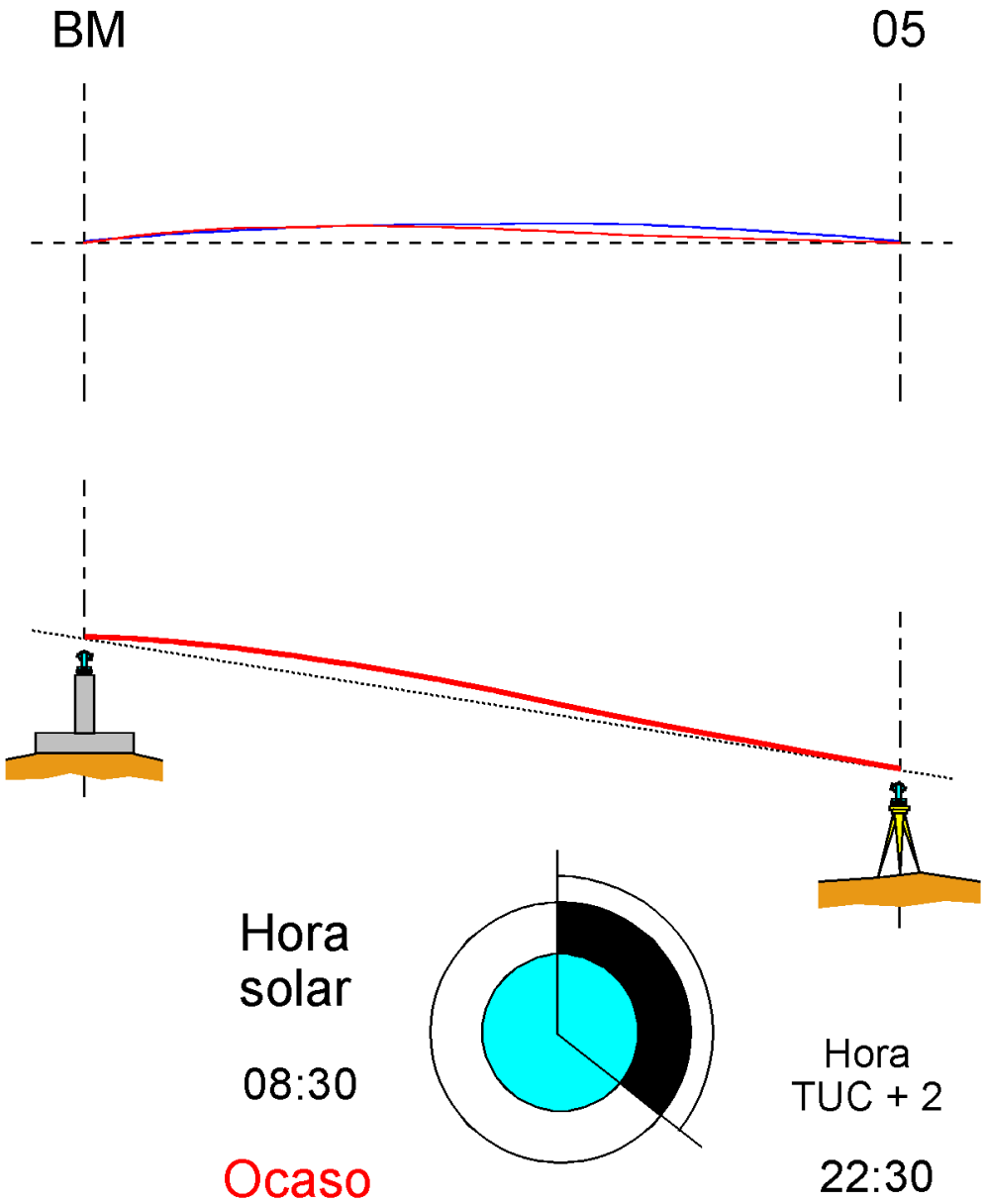
Estudio 24 h



© JOSÉ LUIS VALBUENA, 1998

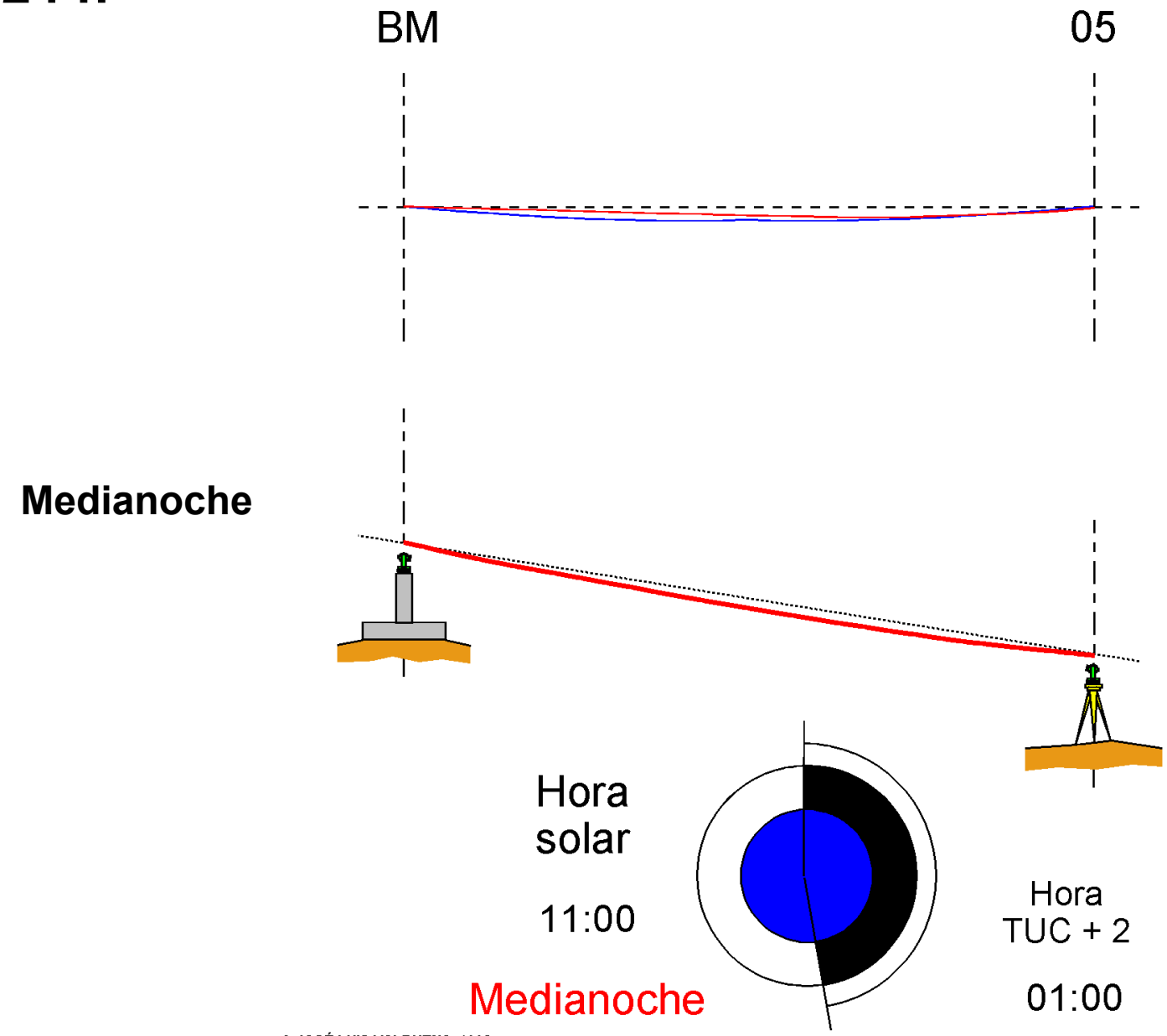
Estudio 24 h

La hora de cenar



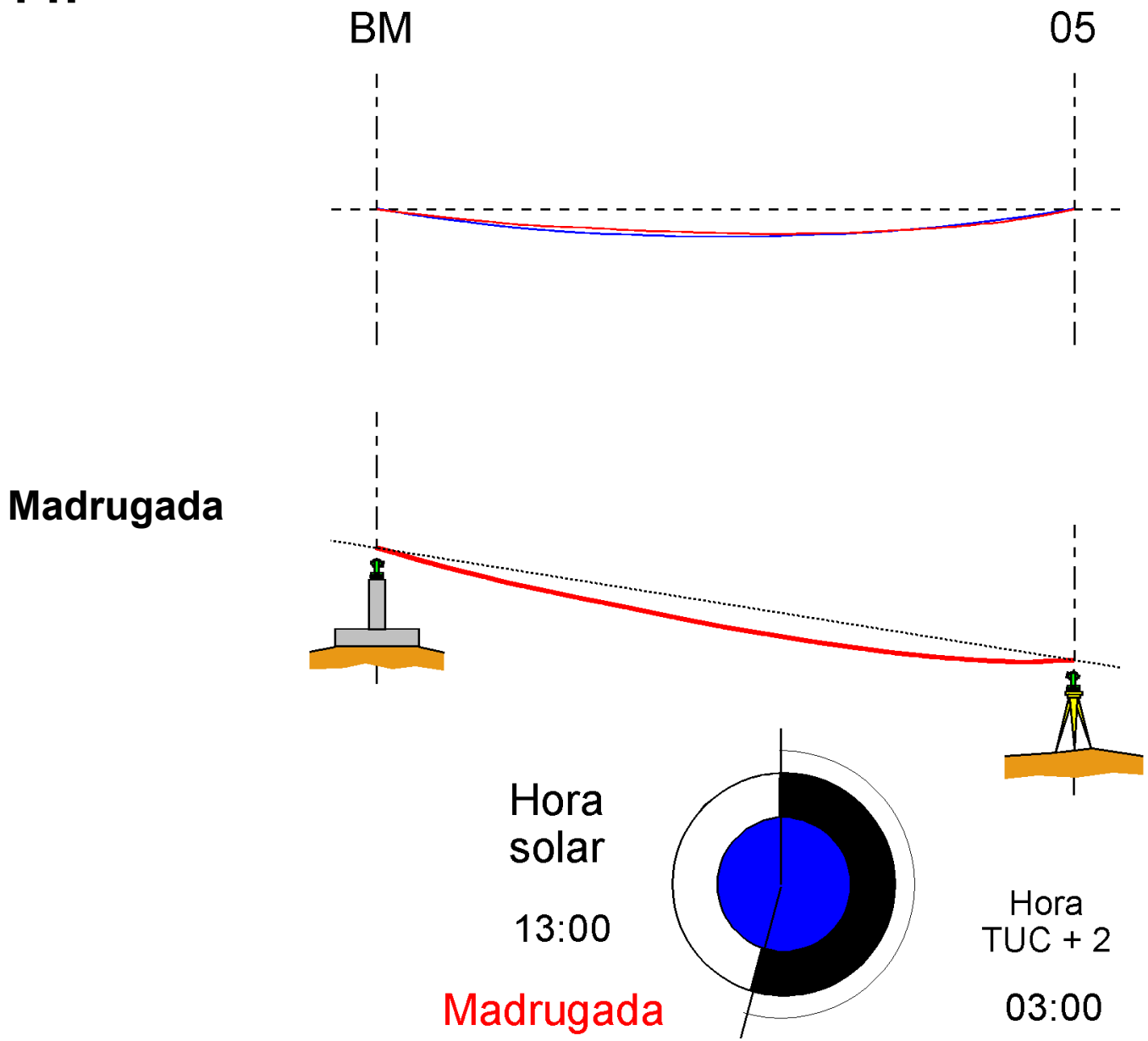
© JOSÉ LUIS VALBUENA, 1998

Estudio 24 h



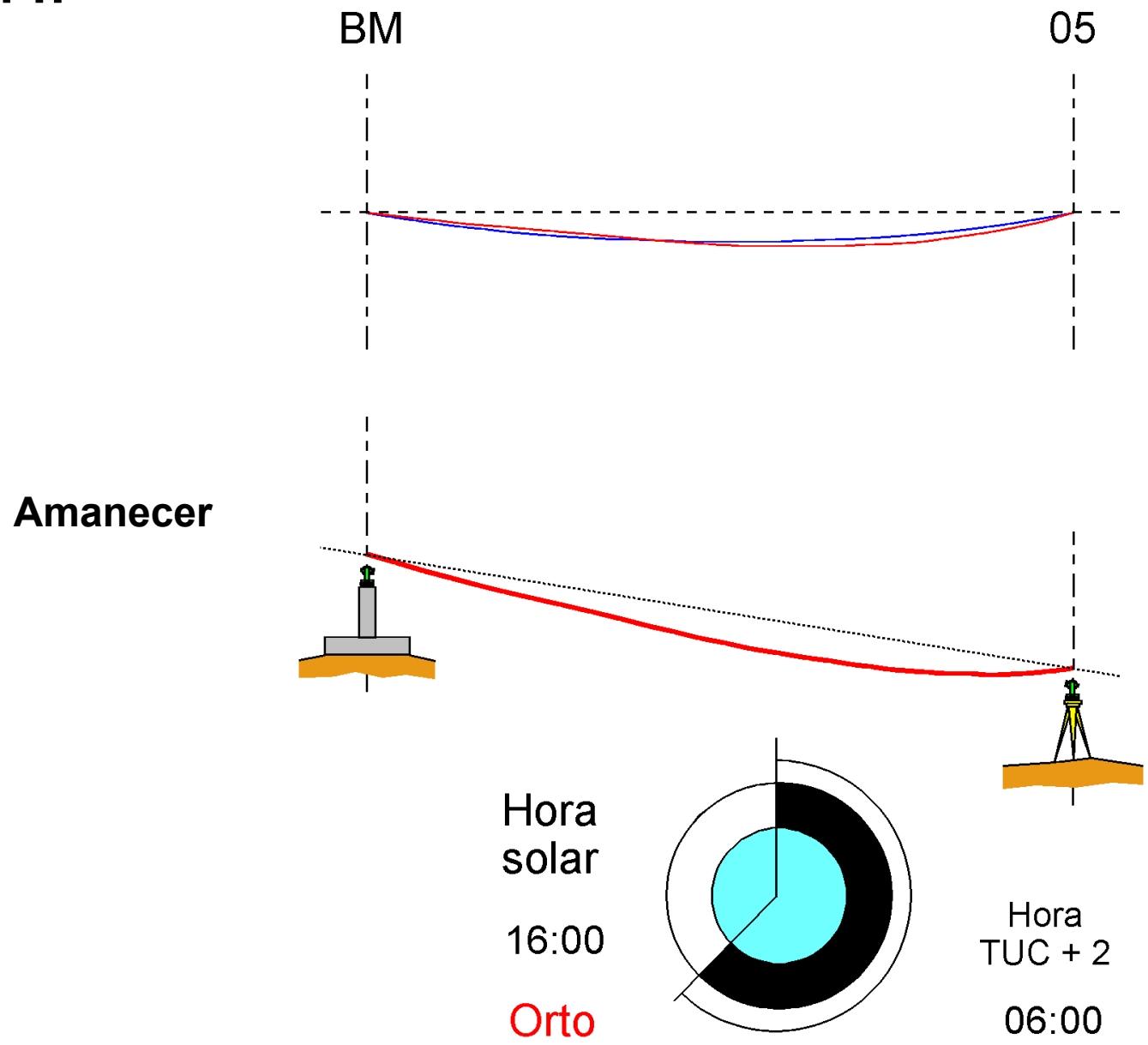
© JOSÉ LUIS VALBUENA, 1998

Estudio 24 h



© JOSÉ LUIS VALBUENA, 1998

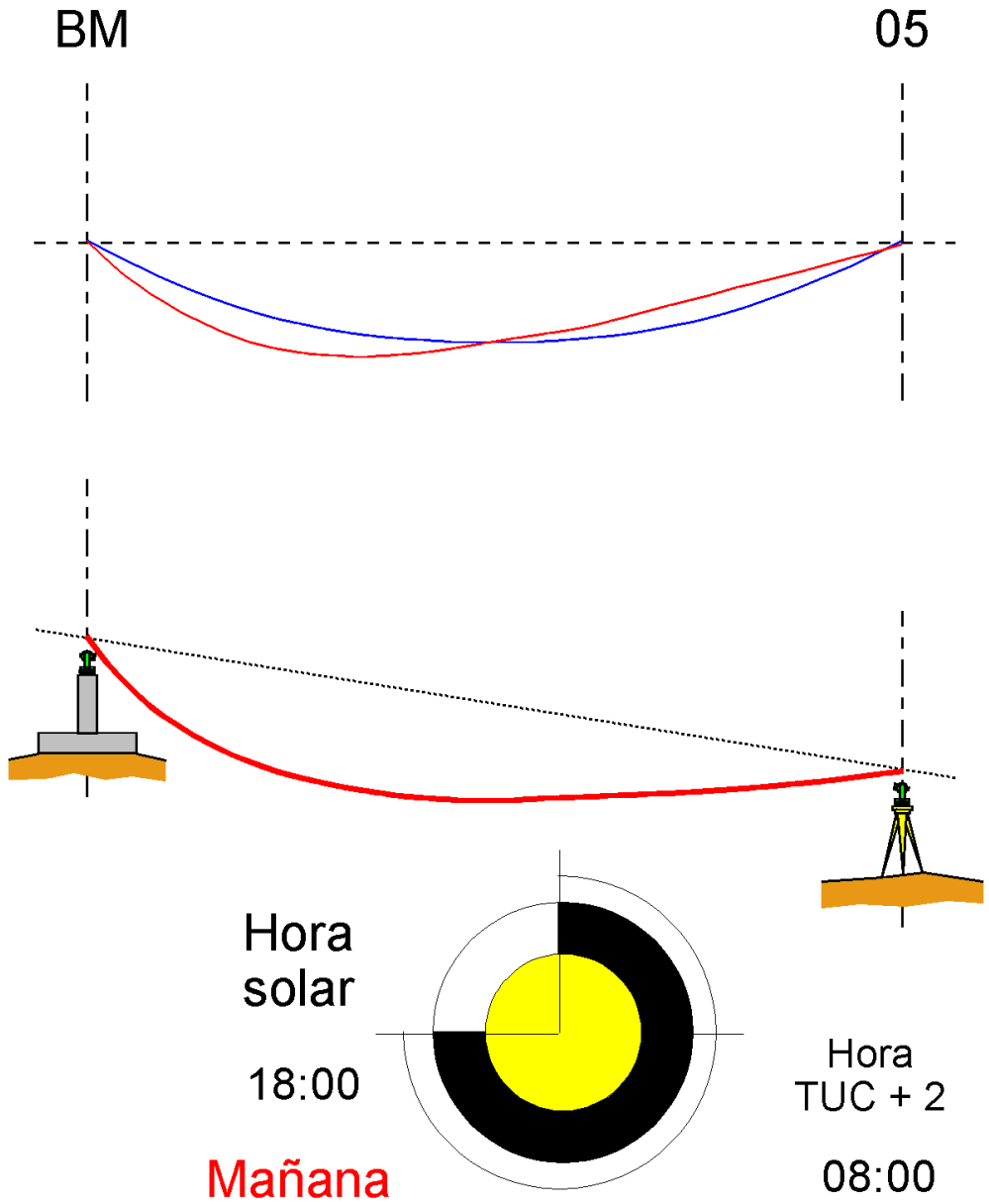
Estudio 24 h



© JOSÉ LUIS VALBUENA, 1998

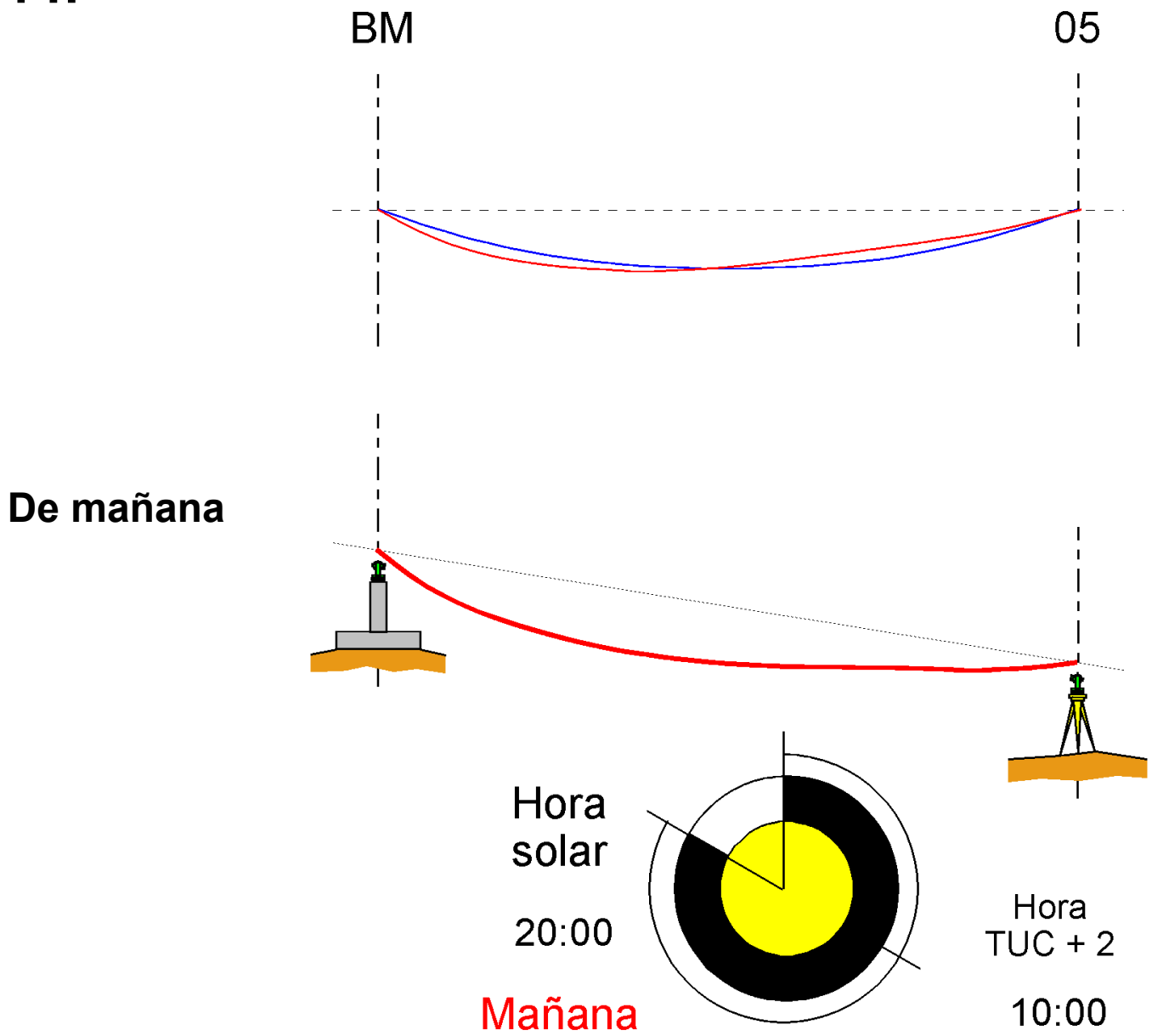
Estudio 24 h

La hora del desayuno



© JOSÉ LUIS VALBUENA, 1998

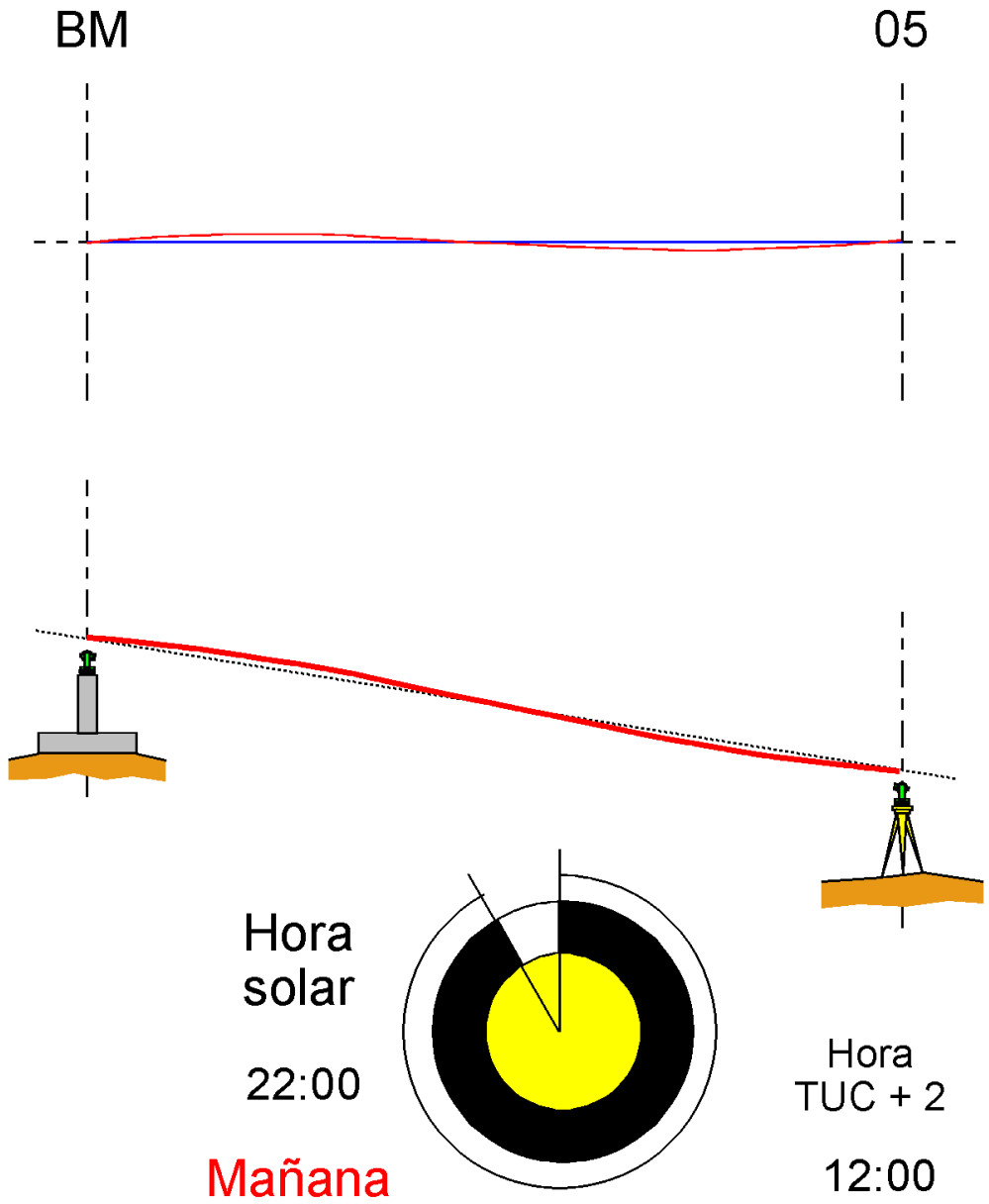
Estudio 24 h



© JOSÉ LUIS VALBUENA, 1998

Estudio 24 h

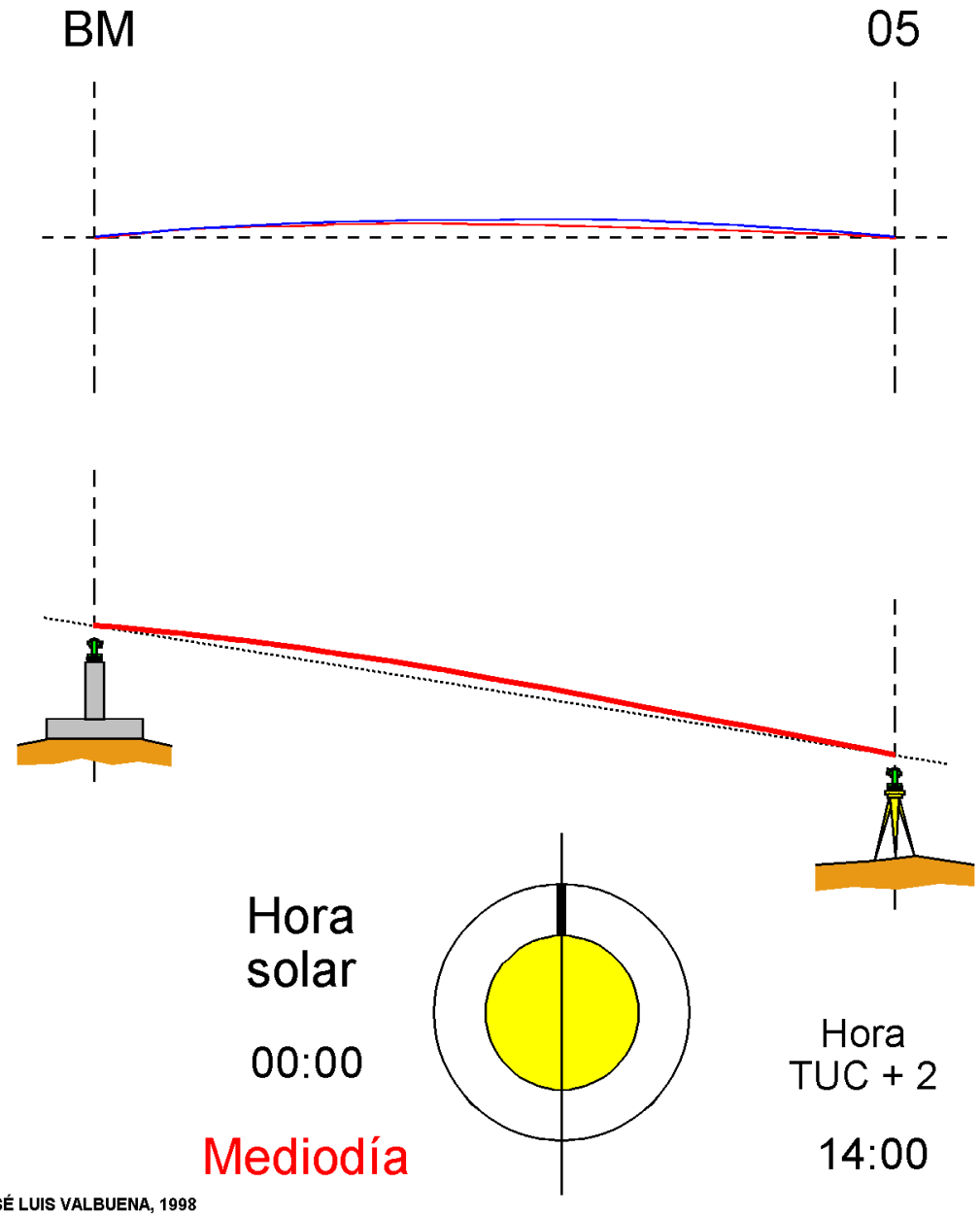
Fin de la mañana



© JOSÉ LUIS VALBUENA, 1998

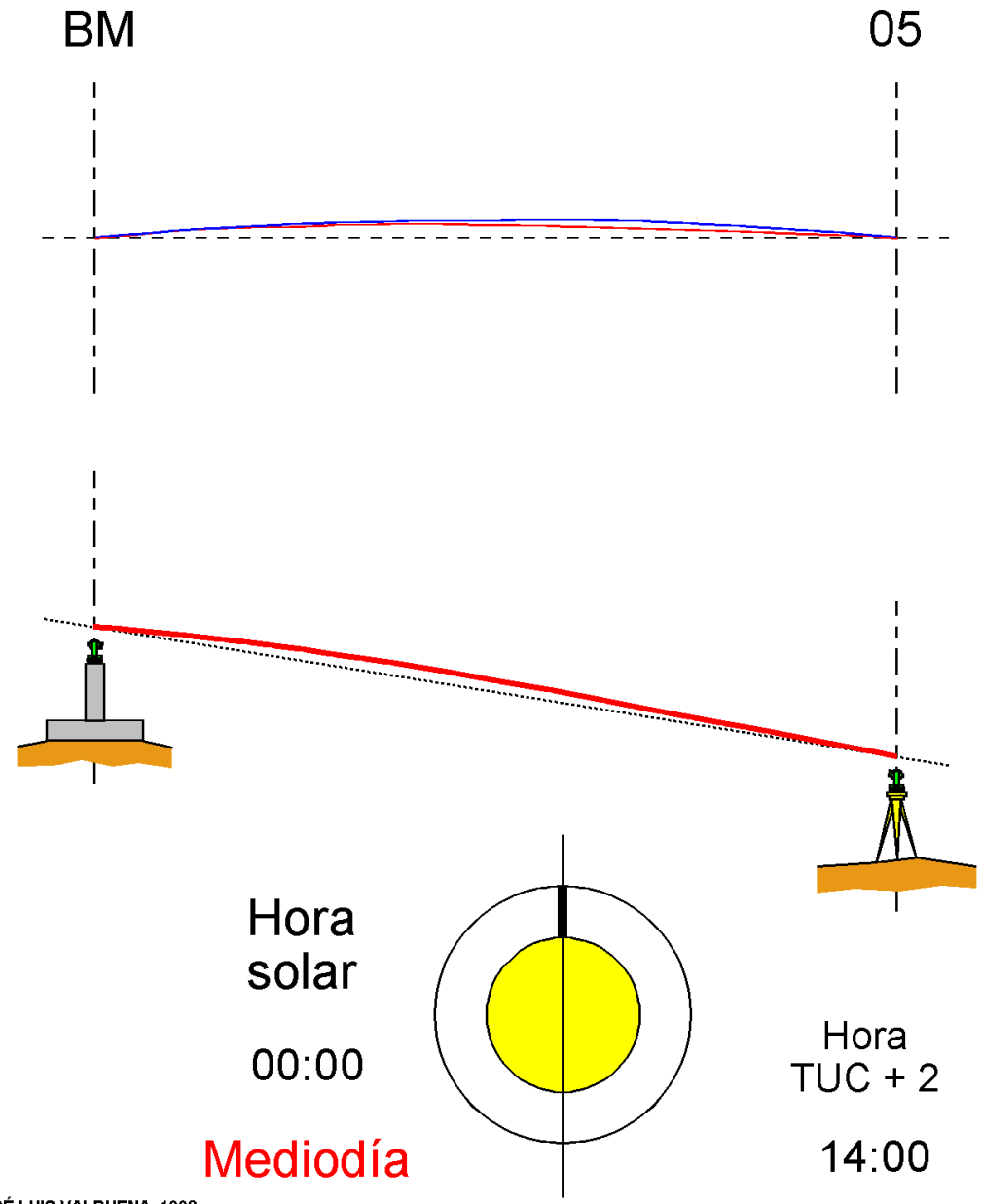
Estudio 24 h

Y se vuelve al comienzo



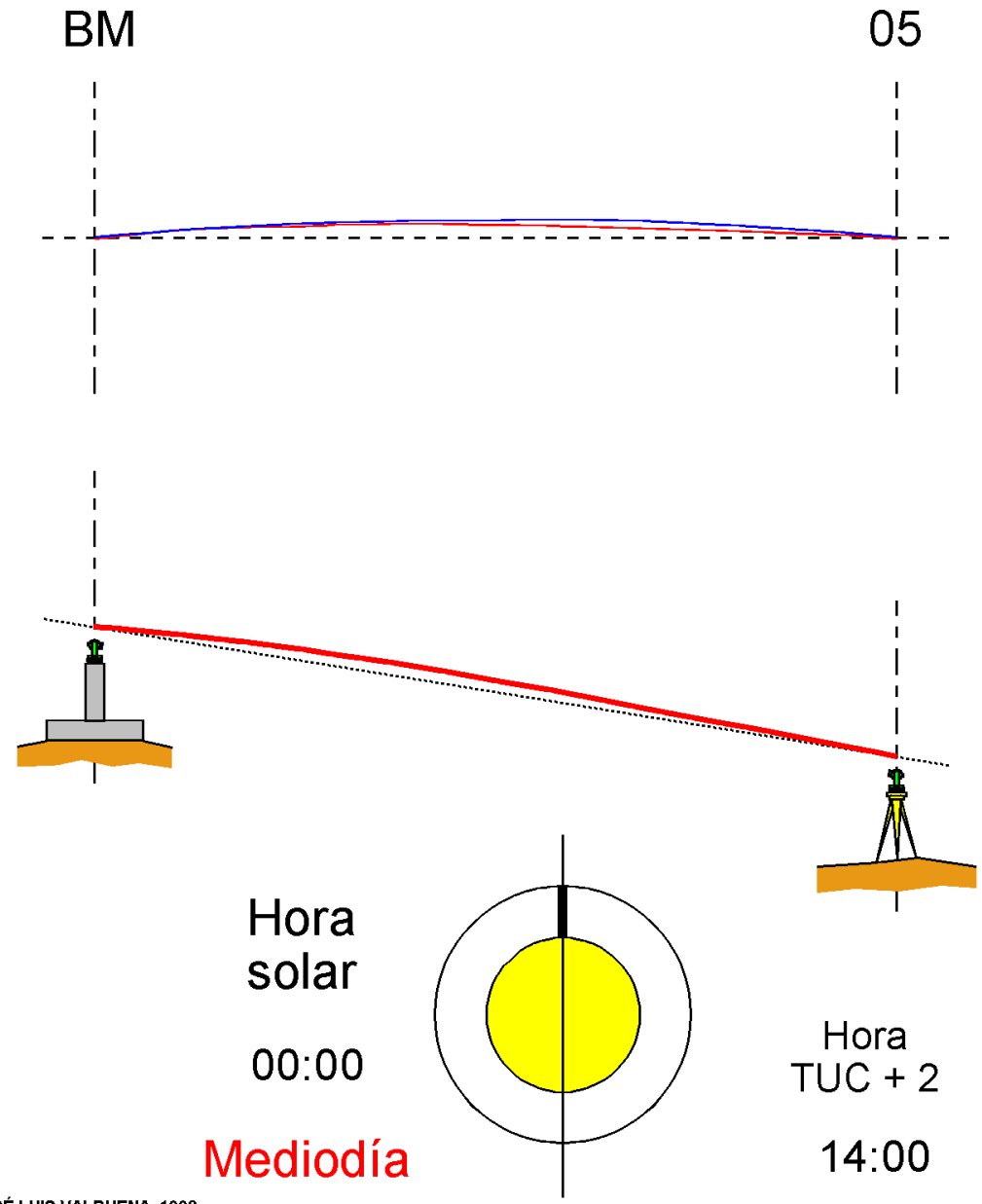
© JOSÉ LUIS VALBUENA, 1998

Secuencia



© JOSÉ LUIS VALBUENA, 1998

Secuencia



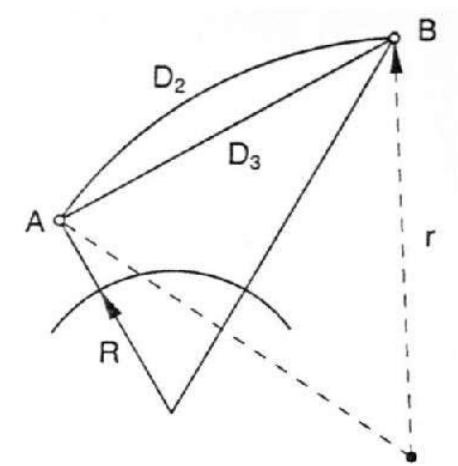
© JOSÉ LUIS VALBUENA, 1998

Reducción de distancia

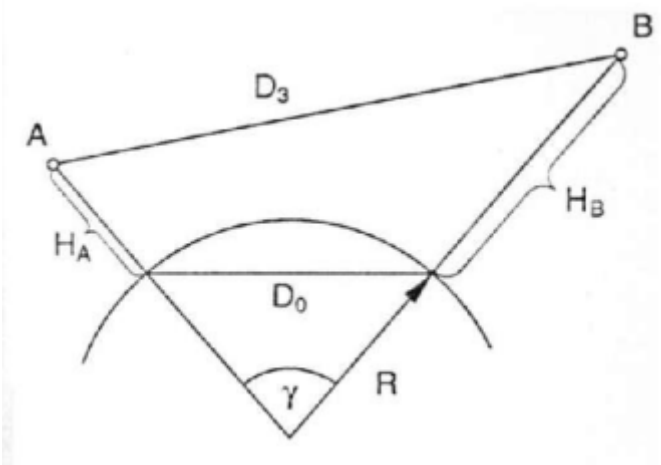
La distancia medida D_1 se corrige por velocidad de propagación (datos meteo → i.r.), obteniendo D_2, el arco en el espacio.

Los tres pasos de la reducción geodésica clásica desde el arco en el espacio hasta el arco en el elipsoide son:

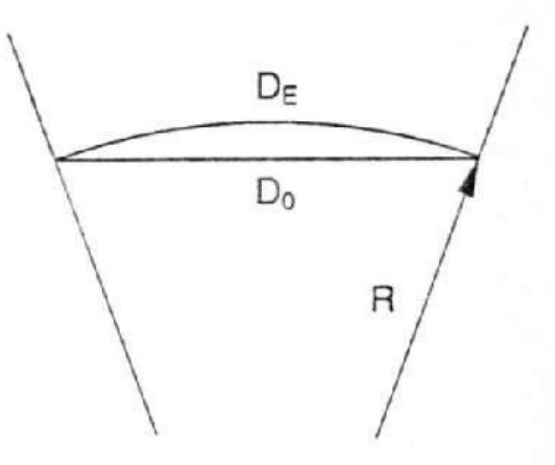
Reducción de arco en el espacio D_2 a cuerda en el espacio D_3



Reducción de cuerda en el espacio D_3 a cuerda D_0 en el elipsoide



Reducción de cuerda D_o en el elipsoide a arco D_E en el elipsoide



Y ahora puede proyectarse el arco D_E en la superficie cartográfica de referencia elegida (UTM, local, etc.).

Puntería incorrecta al reflector

Error no proporcional a la distancia (absoluto)

C. D. Burnside incluye en su libro ELECTROMAGNETIC DISTANCE MEASUREMENT, de 1971 (la '*Biblia pionera*' de la electrodistanciometría), las fórmulas de los errores en distancia y dirección generados por la desorientación del prisma, pero sin gráfico alguno ni su desarrollo.

Este problema se analizó detalladamente en la publicación de J. L. Valbuena et al. 'LA DESORIENTACIÓN DEL PRISMA COMO FUENTE DE ERROR EN LA MEDICIÓN DE DISTANCIAS Y DE ÁNGULOS'. Topografía y Cartografía, pags. 6 a 15, nº 67, marzo – abril, 1995.

Obviamente, las fórmulas obtenidas fueron las de Burnside, pero así podía consultarse su desarrollo, complementado con gráficos.

Aquí se ofrecen las fórmulas finales, los gráficos y las conclusiones.

El desarrollo completo puede consultarse en la publicación citada.

En ELECTROMAGNETIC DISTANCE MEASUREMENT (Burnside 1971), la '*Biblia pionera*' de la electrodistanciometría, el autor incluye las fórmulas de los errores en distancia y dirección generados por la desorientación del prisma, pero sin gráfico alguno ni su desarrollo.

Este problema se analizó detalladamente en la publicación de J. L. Valbuena et al. 'LA DESORIENTACIÓN DEL PRISMA COMO FUENTE DE ERROR EN LA MEDICIÓN DE DISTANCIAS Y DE ÁNGULOS'. Topografía y Cartografía, pags. 6 a 15, nº 67, marzo – abril, 1995.

Obviamente, las fórmulas obtenidas fueron las de Burnside, pero así podía consultarse su desarrollo, complementado con gráficos.

Aquí se ofrecen las fórmulas finales, los gráficos y las conclusiones.

El desarrollo completo puede consultarse en la publicación citada.

Prisma tipo

Los parámetros fundamentales de un prisma son:

Espesor e.

Presentación p.

i.r. (n) del cristal del prisma.

Como se ha expuesto en EDM III (K), cualquier rayo incidente puede asimilarse al que vaya al vértice.

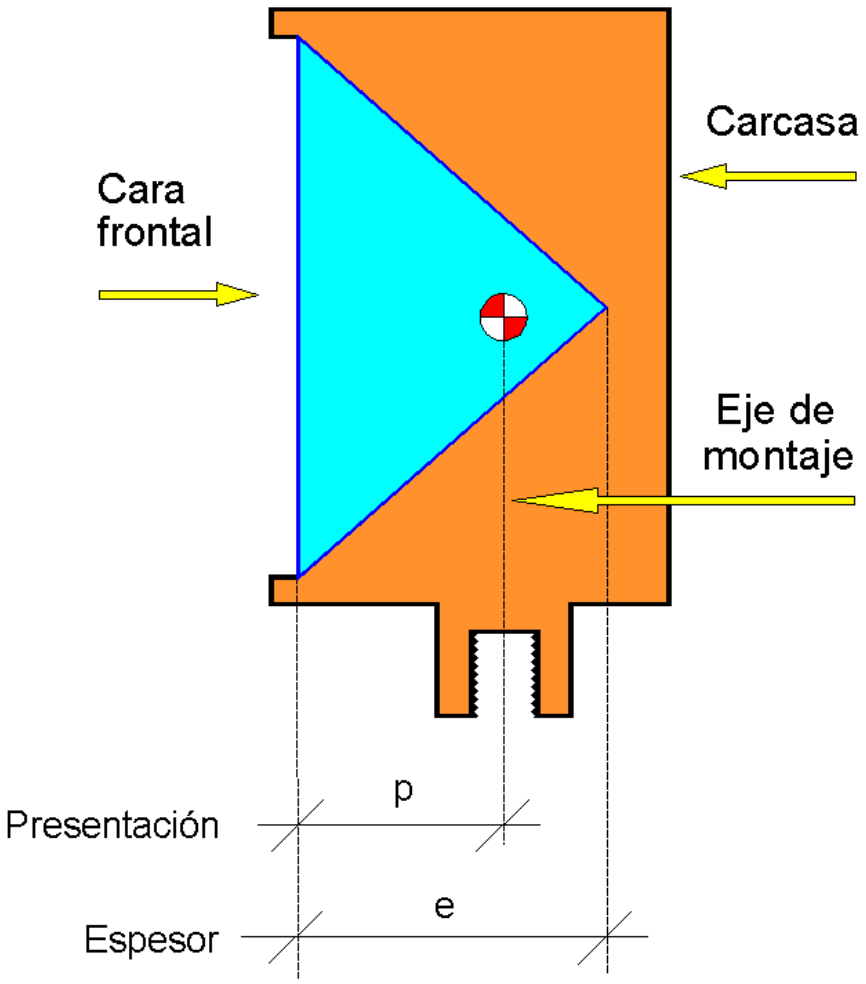


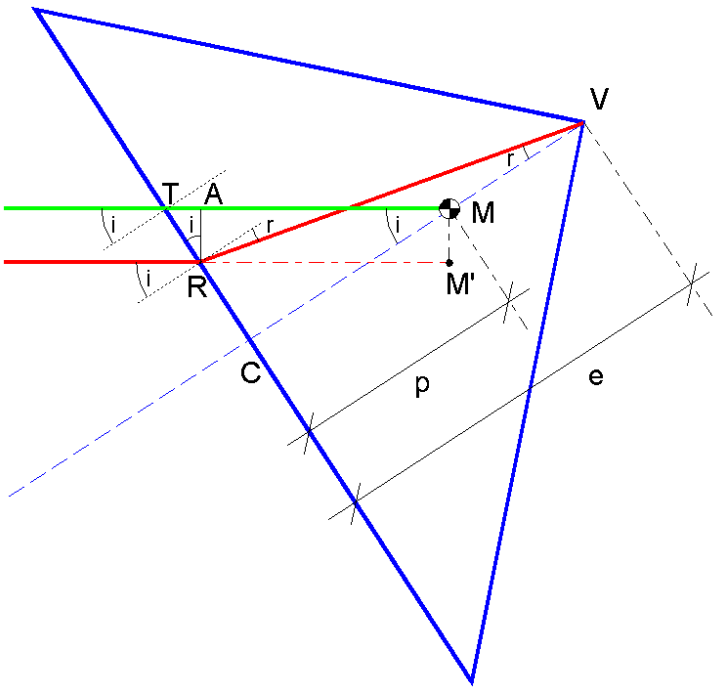
Figura fundamental

La medida ideal sería hasta M, propagándose por el aire (línea verde) a velocidad c.

Pero la medida real se hace propagándose por el cristal hasta V (línea roja), con el tramo R-V a velocidad c/n.

Con una desorientación i el camino verde A-M pasa a ser realmente el rojo R-V · n.

La puntería sufre un paralaje de valor M-M'.



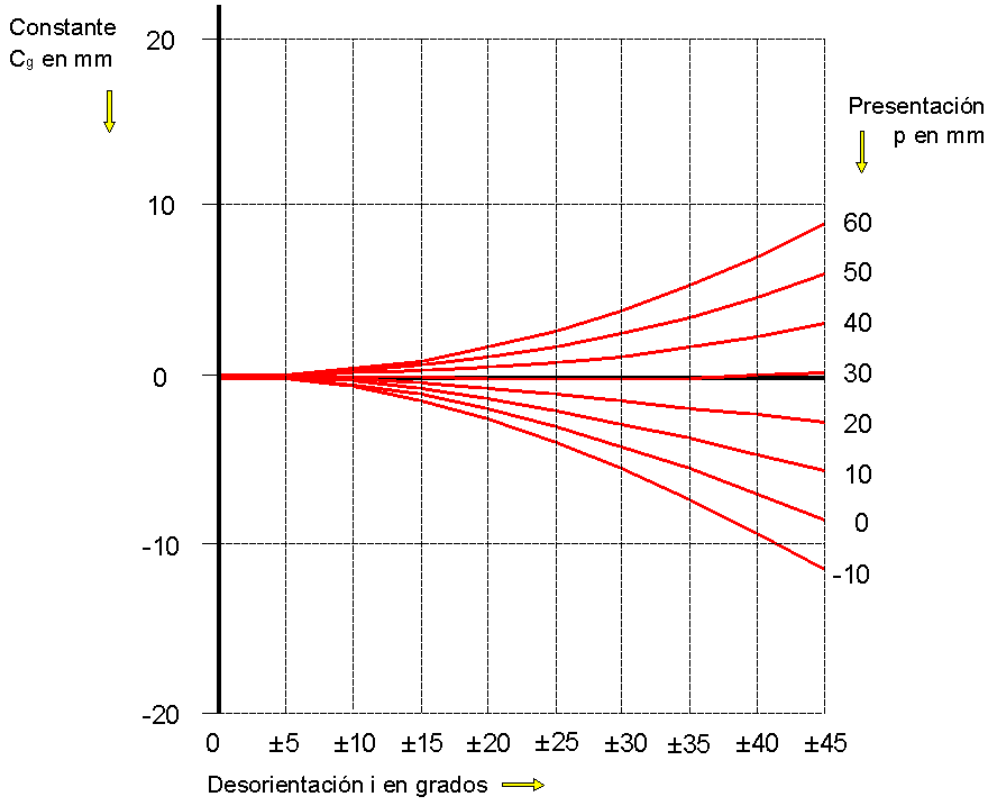
Los gráficos se referirán a un prisma con e de 50 mm e i.r. n de 1,54.

Estos parámetros son los ordinariamente usados en los prismas estándar de 60 mm de Ø (y suelen tener una p de 30 mm).

Variación de Ce por giro

La C_e utilizada por un EDM se incrementa, por giro, en un valor C_g.

Con la fórmula adjunta, se obtiene el gráfico correspondiente al prisma propuesto.

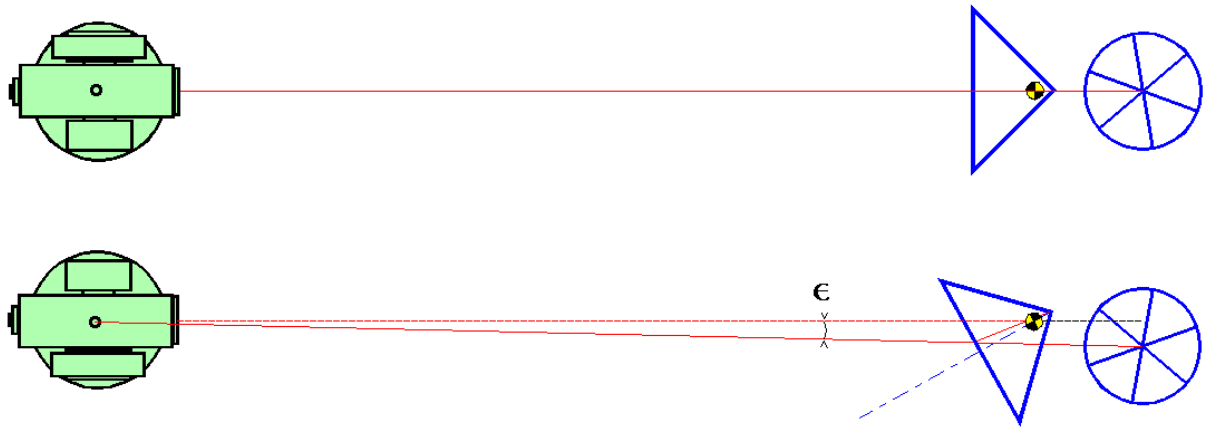


$$C_g = p\,(1 - \cos i) - e\,(n - \sqrt{n^2 - \operatorname{sen}^2 i})$$

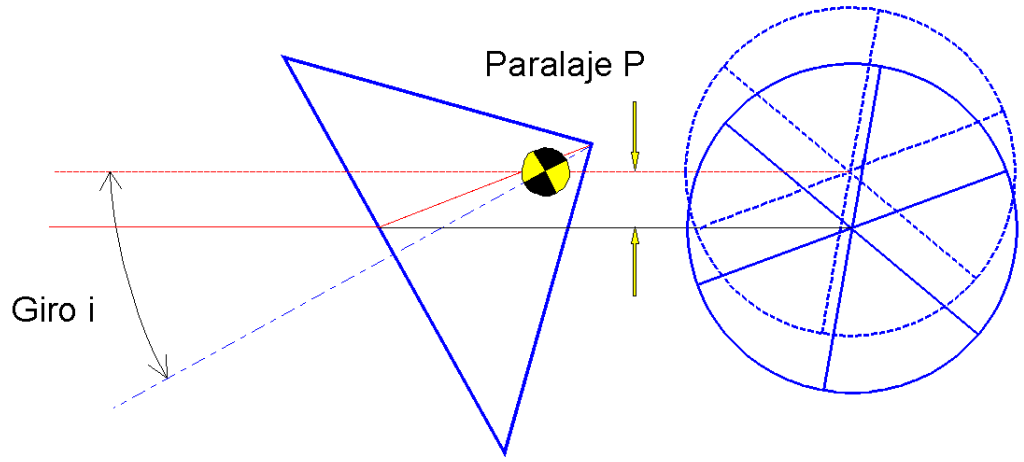
Con p de 30 mm la constante no llega a cambiar 1 mm con giros de hasta 45º.

Paralaje por giro

Con el giro i se genera un error angular ε



El paralaje P es la variación aparente del centro de puntería



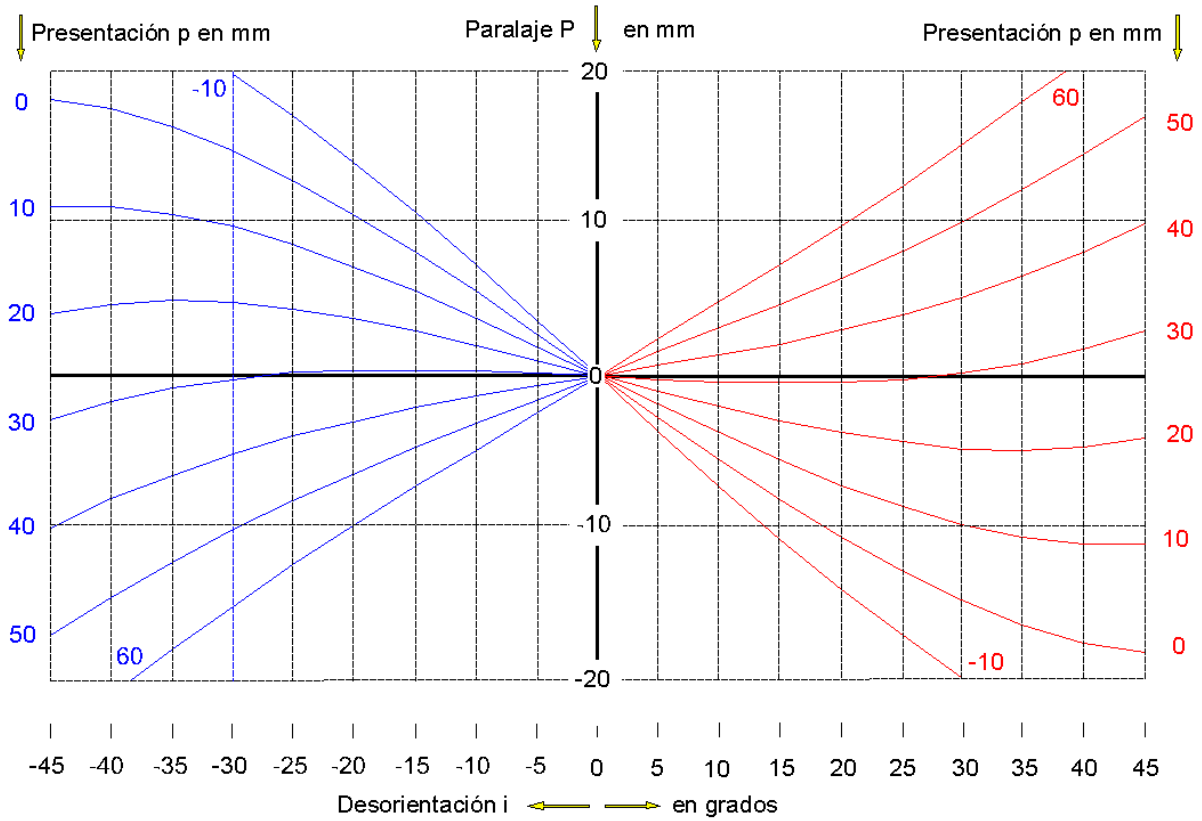
Paralaje por giro

El paralaje por giro se denomina P

$$P = \operatorname{sen} i \left(p - e \frac{\cos i}{\sqrt{n^2 - \operatorname{sen}^2 i}} \right)$$

Con la fórmula adjunta, se obtiene el gráfico correspondiente al prisma propuesto

Con p de 30 mm el paralaje es <1 mm con giros de < 35º.



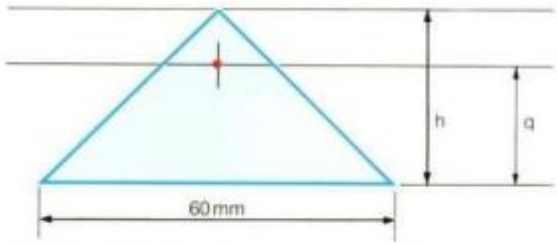
Resultado del estudio

Se ha considerado un prisma con espesor de 50 mm e i.r. de 1,54, valores medios de los prismas ordinarios (60 mm Ø) de la oferta comercial.

Frecuentemente, los fabricantes diseñan los prismas con una presentación de 30 mm para que sean poco sensibles a errores de orientación en constante y en paralaje.

El EDM submilimétrico ME 5000 usaba estos prismas (catálogo de 1988)

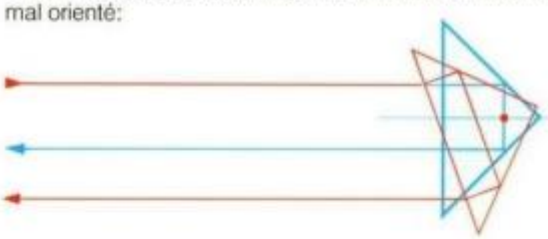
Este prisma tiene un espesor de 40 mm y una presentación de 26 mm, no mencionándose el i.r. Con desorientaciones de hasta 25° la variación de constante es menor de 0,025 mm



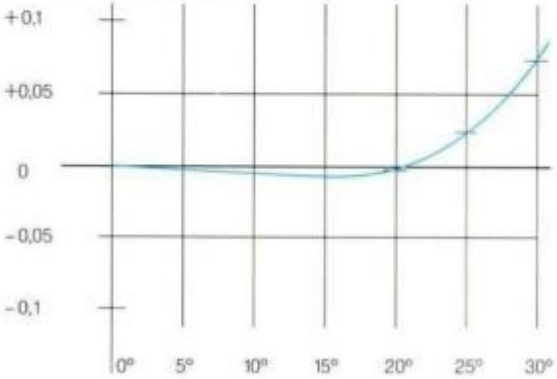
Hauteur théorique	h = 40,000 mm
Hauteur effective	$S = 40 \pm {}^{0}_{1}$
Réglage:	q = 26,000 mm − Δ 1,536 Δ = h − s

Sensibilité de l'erreur d'orientation

Le chemin du faisceau de mesure doit être si possible de même longueur indépendamment des erreurs d'orientation. L'erreur résiduelle minimale est obtenue en choisissant le centre de rotation du prisme en un point optimal. Chemins superposés des rayons d'un réflecteur bien et mal orienté:



L'erreur résiduelle de la distance en fonction de l'erreur d'orientation du réflecteur:



Estudio en la B.L.M. (ETS de ITTGC - UPM) de los miniprismas usados en control

En la medida ordinaria de C_e se utiliza el método de segmento partido, con medida de las 6 distancias.

Por sus 30 mm ∅, los miniprismas no pueden satisfacer el compromiso constante-paralaje como los ordinarios de 60 mm ∅.

Verificando con la TRIMBLE S6 HP, se apuntaba el miniprisma con un espejo semirreflectante.

La técnica era hacer coincidir la imagen del ojo con la ET.

En distancias cortas, pequeñas desorientaciones del prisma generaban errores angulares claramente detectados por la puntería automática de la ET.

Para minimizar el error residual, inicialmente se fabricó un útil de puntería mediante un prisma triangular de 90º

Acoplando el útil al prisma se puede hacer una buena puntería

Pero es necesario disponer del útil y manejarlo hábilmente.

Se decidió mejorar el sistema.

Análisis de la fuente de error en paralaje

El miniprisma permite dos montajes,
con diferentes constantes

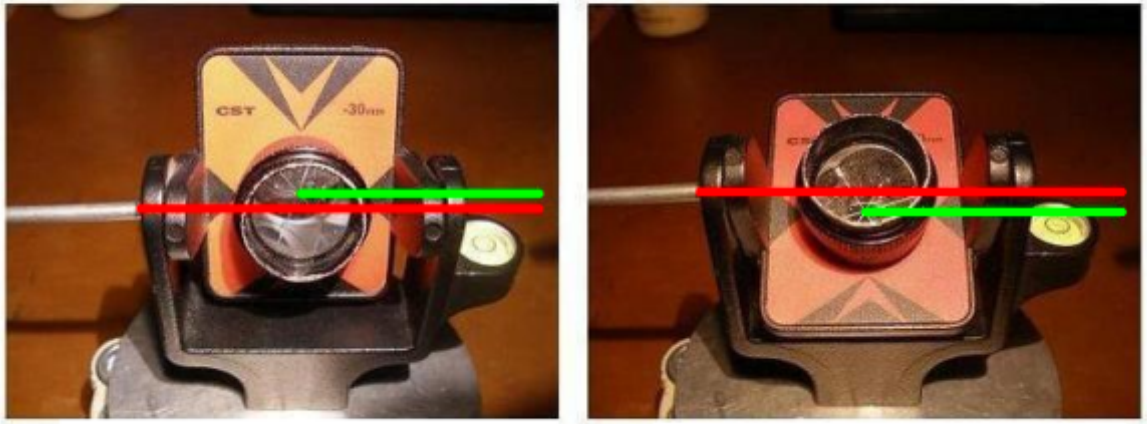
Miniprisma en posición 0 mm

Miniprisma en posición -30 mm

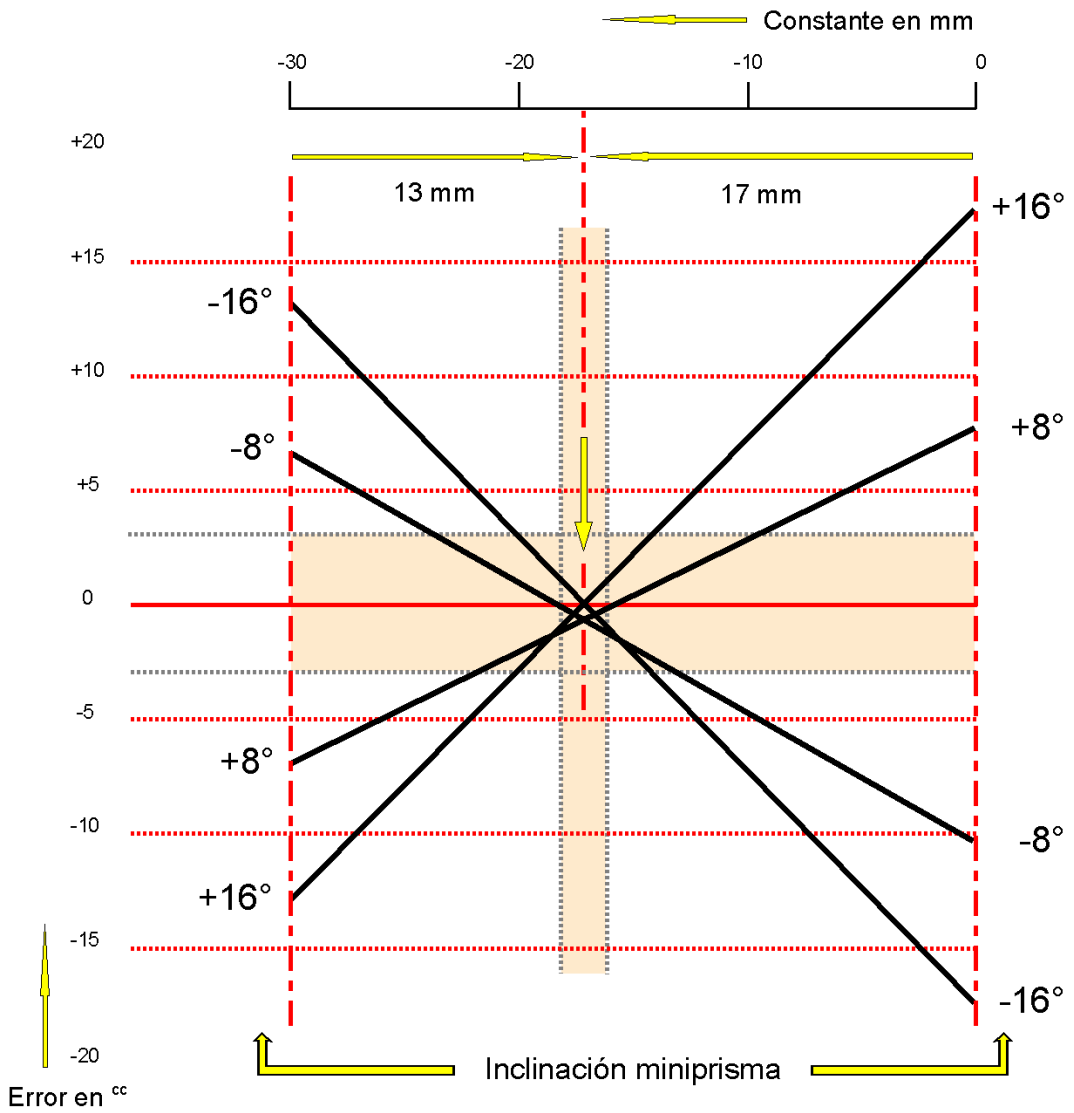
Con el prisma bien apuntado, el centro de reflexión (de puntería) coincide con el centro mecánico (el eje)

El razonamiento se hace en el plano vertical porque es más fácil de comprender, pero es igual en el horizontal.

Si el prisma está mal apuntado, el centro de reflexión (de puntería) no coincide con el eje

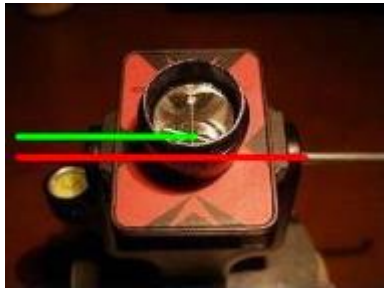


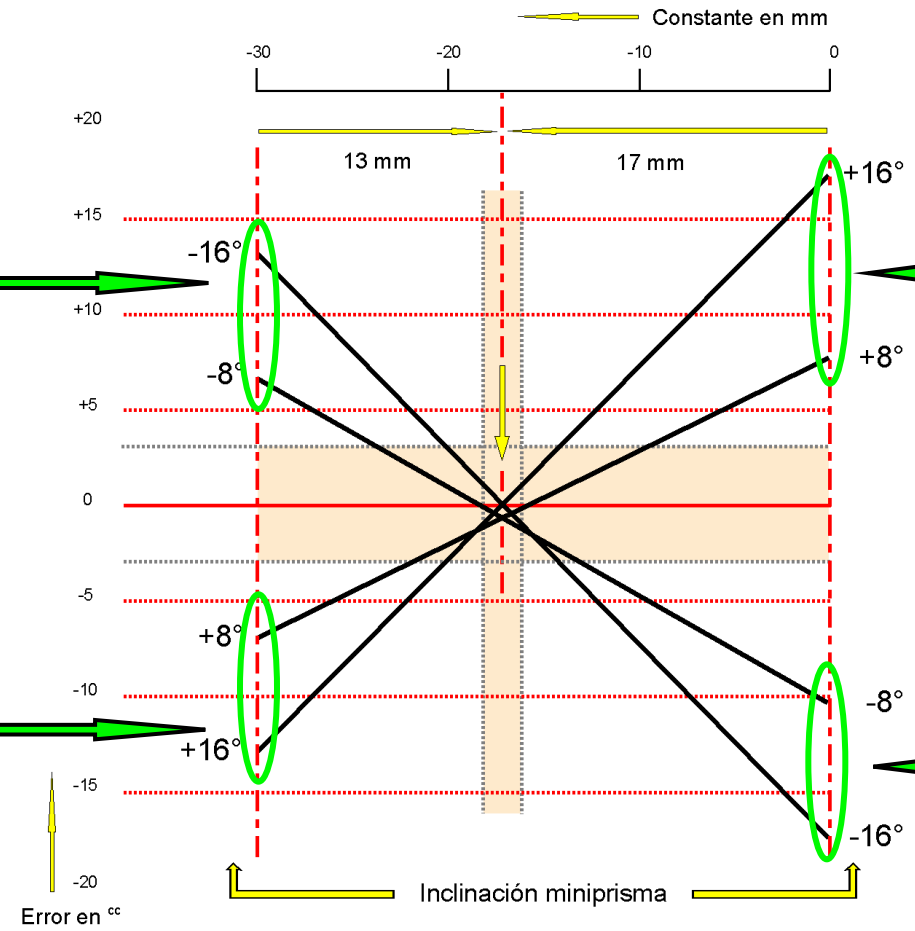
Estudio en la BLM del error por inclinación

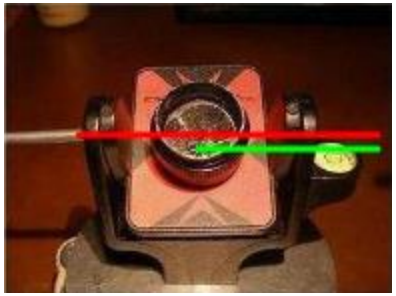


Análisis a 14 m

Estudio en la BLM del error por inclinación







Eje – puntería

Se fabricó un casquillo prolongador para adelantar el prisma 13 mm respecto a su posición de montaje de -30 mm

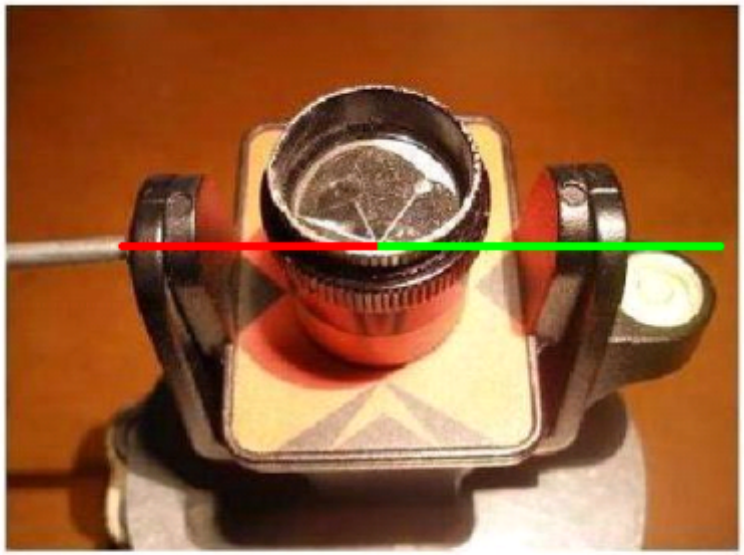
Casquillo prolongador de 13 mm

Montaje con K de -30 +13 = -17 mm

En esta configuración la constante es de -17mm.

Puntería 16º hacia arriba

No ha desviación



Eje – puntería

Presentación con casquillo para constante K de -17 mm

Puntería 16º hacia abajo

No ha desviación

El error de puntería por desorientación queda a nivel residual

Error cíclico

Error no proporcional a la distancia (absoluto, pero no constante)

Medición con moduladora fina

Tras la medición grosera de la distancia, el EDM hace la resolución final iterando la medición de fase Δφ de la moduladora fina.

Antiguamente la moduladora fina era de 15 MHz (λ = 20 m). Ahora son más cortas, hasta submétricas en los de máxima precisión.

Al hallar el valor de Δφ hay imperfecciones (antes, mecánicas, ahora, electrónicas) que originan en cada λ diferencias residuales entre valores obtenidos y reales, en la resolución fina de la medida.

Esta diferencia es propia de cada instrumento y constante para cada Δφ. Es un error cíclico E_c, de tipo senoidal, con período λ/2 de la moduladora fina. Se denomina 'cíclico' o de 'linealidad'.

Con la antigua moduladora fina de 15 MHz, el error cíclico se llamaba 'decamétrico', al repetirse cada 10 m: 10 de ida y 10 de vuelta.

La exposición se hará con esta moduladora por ser así más conceptual.

Base de carril

El E_c podía tener valores del orden de ± 3 mm, normamente incluídos en la parte fija de la fórmula de precisión nominal.

Excepcionalmente, algunos fabricantes facilitaban aparte el gráfico.

El E_c se establece en bases de carril, aunque también puede hacerse en bases lineales multipunto tipo Schwendener.

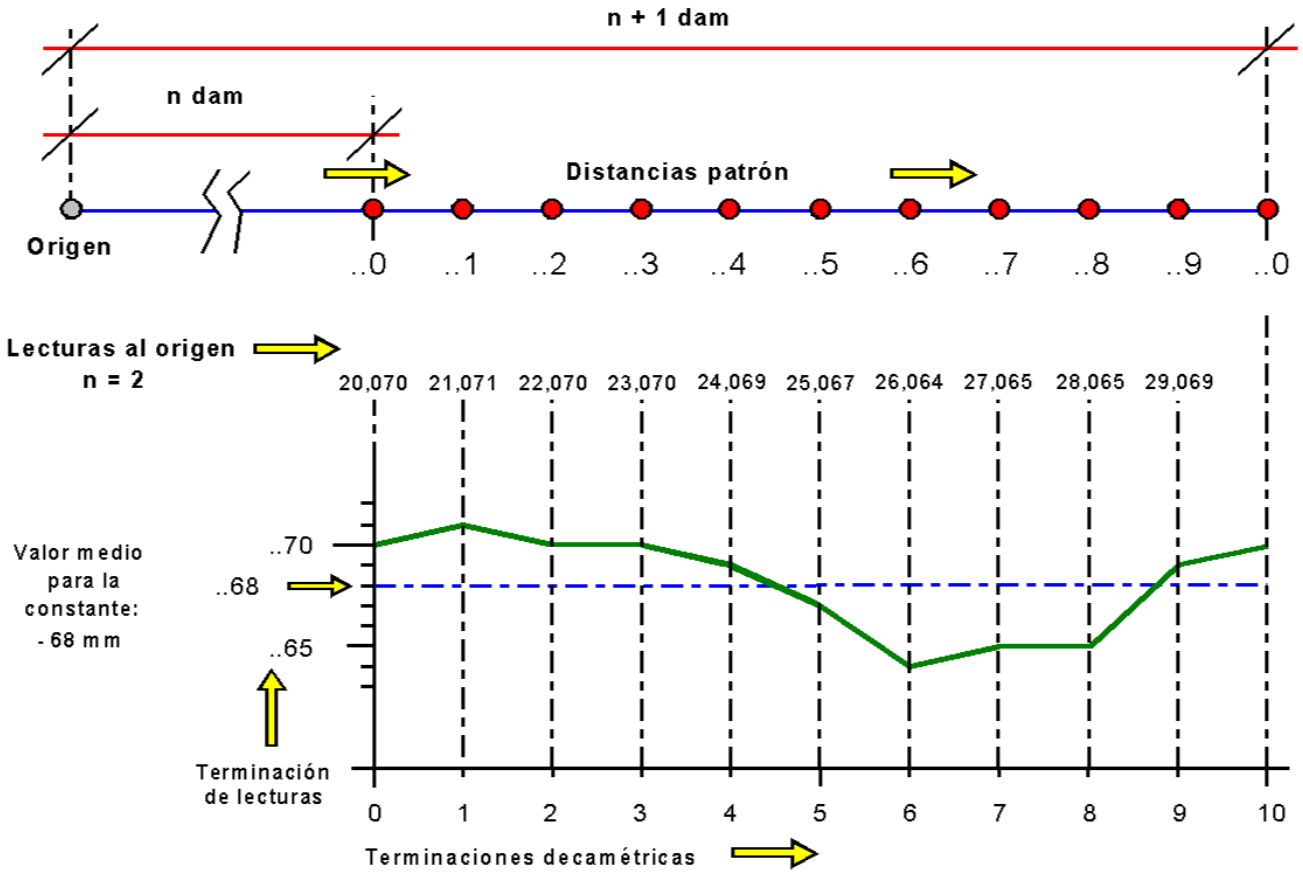
Las bases de carril constan de un corto carril (puede ser de sólo 10 m de longitud +1 m al principio y al final). Pueden determinar el Ec y la Ce.

Tiene ‘paradas’ cada metro, con distancias patrón establecidas con un sistema interferométrico o un EDM submilimétrico.

Con el EDM en calibración se hace lectura en todas las ‘paradas’ patrón.

Base de carril

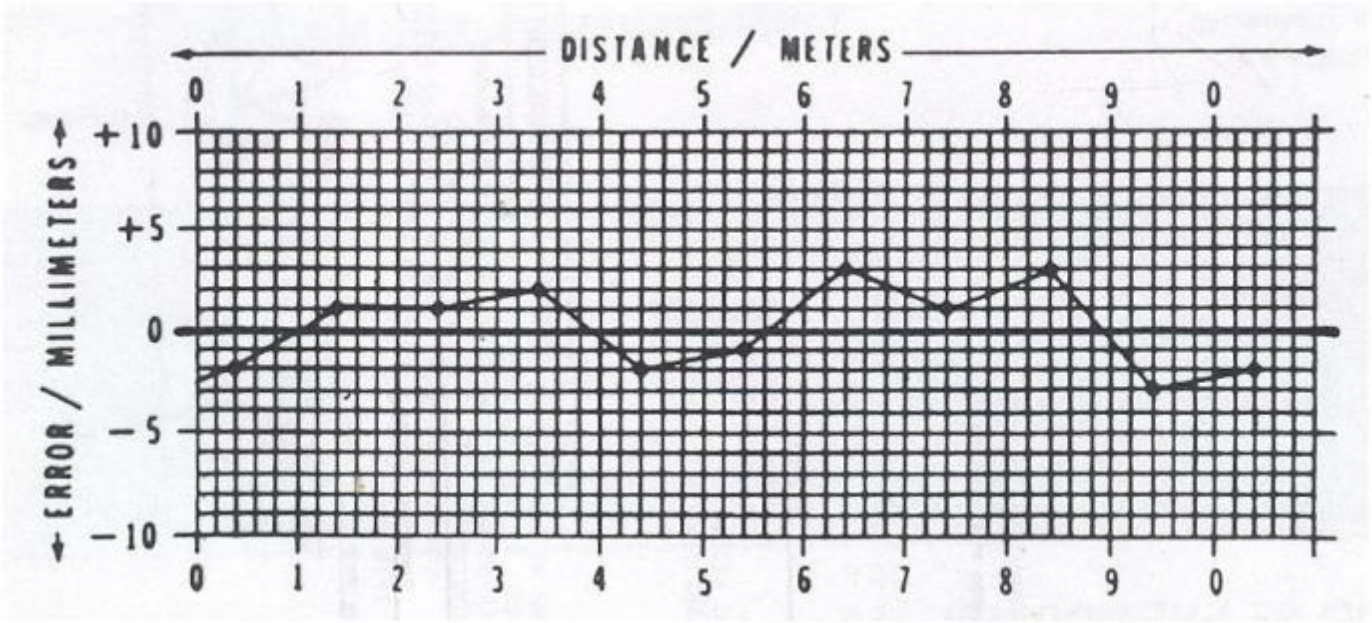
Se hace lectura en sus 'paradas', cada metro



La media de los residuos de cada distancia patrón es la C_e con signo contrario

Los residuos de cada lectura, corregida de C_e, es, precisamente, el E_c de cada terminación decamétrica. Se puede hacer tabla o gráfica.

Gráfica del E_c

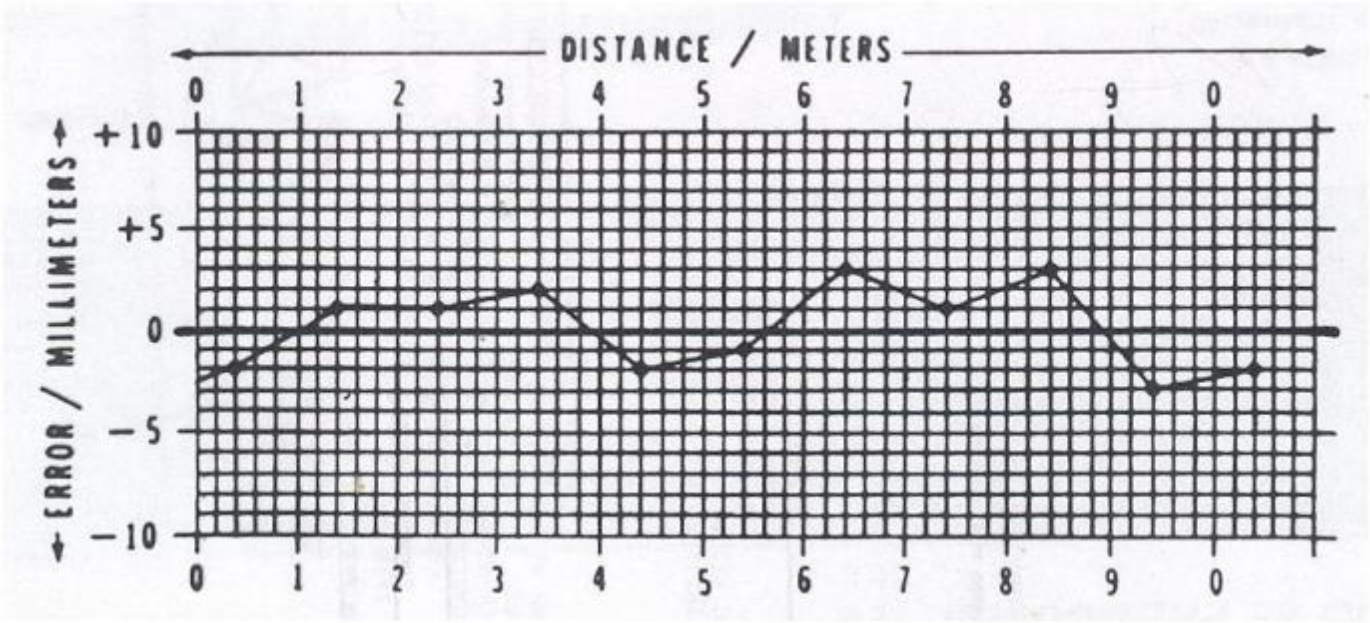


Esta gráfica es la reproducción de una de las cartas de error decamétrico que K&E entregaba con los cuatro RM-III (diferente para cada uno) empleados en el Estudio Geodinámico del Estrecho de Gibraltar

La precisión nominal es ±(5 mm + 5 ppm), y el decamétrico, ±3mm.

El valor ±3mm va incuido en el ±5 mm de la nominal ±(5 mm + 5 ppm).

Gráfica del E_c



Gráfica de una de las cartas de error decamétrico que K&E entregaba con los cuatro RM-III (diferente para cada uno) empleados en el Estudio Geodinámico del Estrecho de Gibraltar.

La precisión nominal es ±(5 mm + 5 ppm), y el error decamétrico, ±3mm.

Con corrección decamétrica, la precisión nominal sería ±(2 mm + 5 ppm).

Base Schwendener

En 1972 Schwendener ideó y construyó una base lineal multipunto con 7 pilares.

Los valores, con rango patrón, de las separaciones, entre los sucesivos pilares son crecientes: 19,5, 39,0, 68,0, 127,5, 256,0 y 511,5 m.

Las 21 distancias que pueden medirse son:

	A	B	C	D	E	F
B	19,5					
C	58,5	39,0				
D	126,5	107,0	68,0			
E	254,0	234,5	195,5	127,5		
F	510,0	490,5	451,5	383,5	256,0	
G	1021,5	1002,0	963,0	895,0	767,5	511,5

Base Schwendener

Con los intervalos mencionados hay 20 terminaciones decámetricas de metro entero y 18 de 0,5 m (algunas repetidas).

Terminaciones	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5
Veces	•	•	x	•••	•	x	•	•	•	•	•	•	•	•	•	••	•	•	•	•

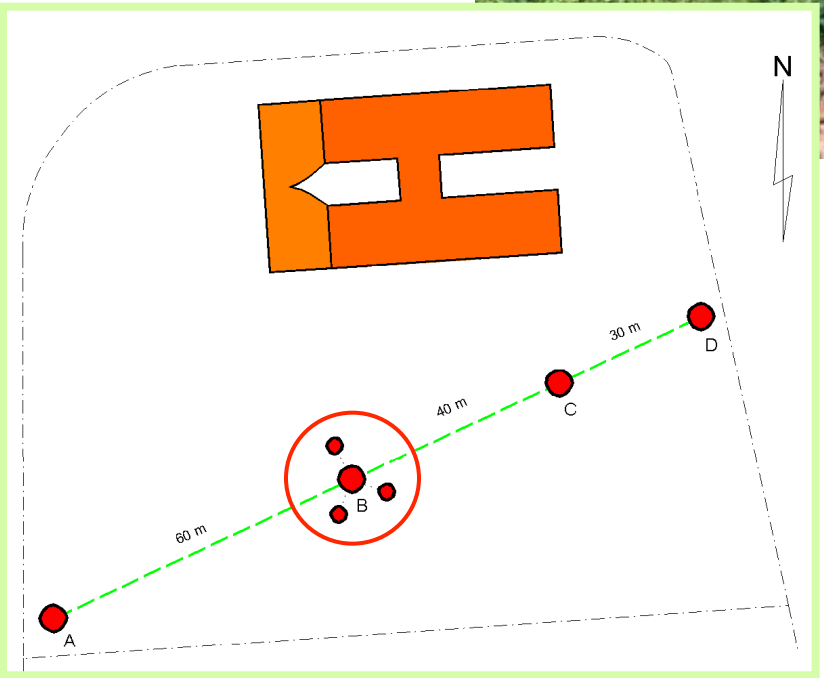
Tras medir las 21 distancias, hay 7 incógnitas (seis separaciones entre pilares y la constante). Hay 13 grados de redundancia para C_e.

Tras corregir las 21 lecturas de la C_e media obtenida, se comparan las ya distancias reales con los valores patrón.

El residuo de cada distancia es el error cíclico de esa terminación decamétrica, pudiendo hacerse la gráfica conjunta.

Base lineal multipunto de la ETSITGC (UPM)

En 1994 se construyó en el patio de la Escuela una base de 4 pilares con una longitud 130 m

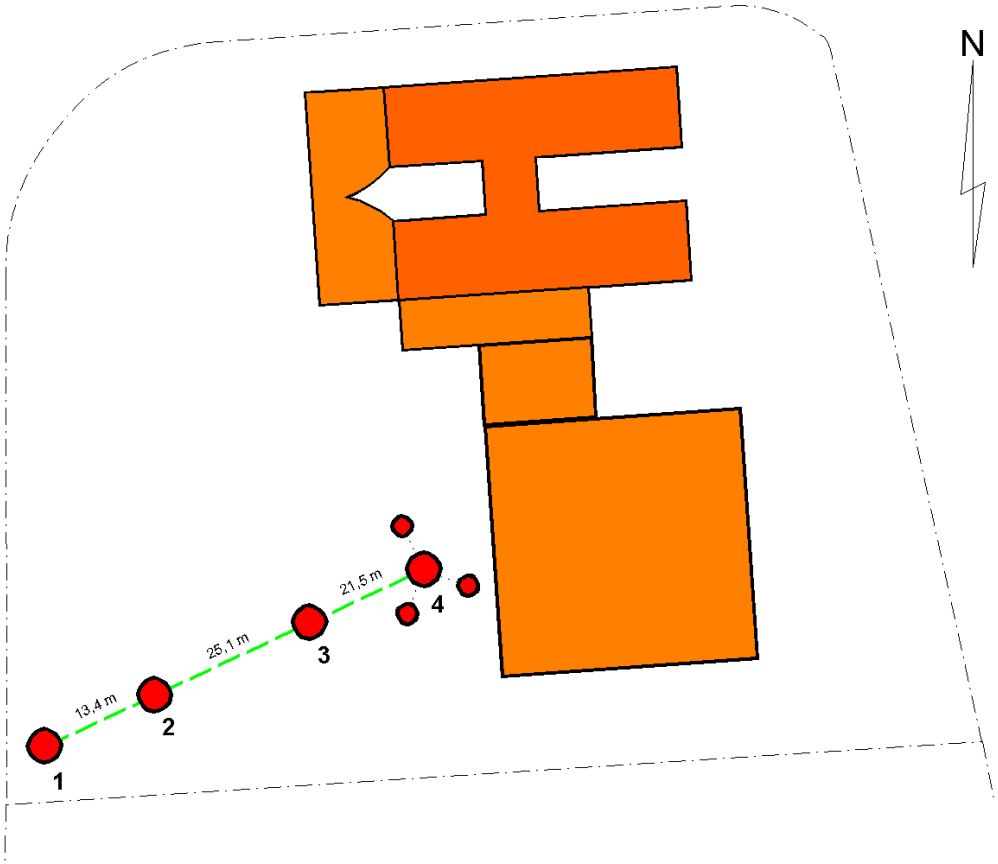


A corta distancia del pilar B se colocaron otros tres para estudiar con alta precisión centrados instrumentales

Base lineal multipunto de la ETSITGC (UPM)

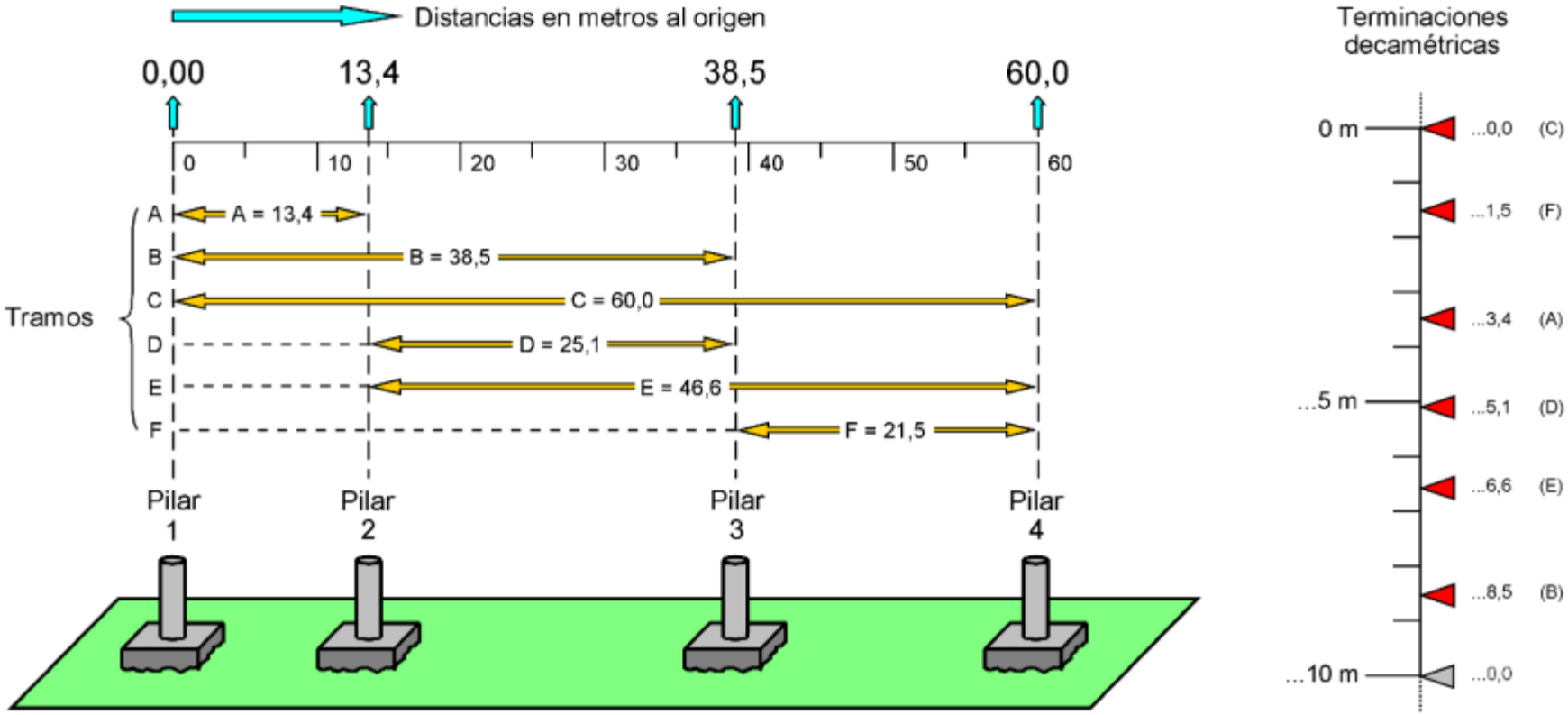
En 1998 se construyó la nueva biblioteca, desapareciendo el pilar C y dejando inutilizable el D

Los pilares A y B (y el grupo de centrados instrumentales) se conservaron, intercalando otros dos entre ellos



Los pilares A y B pasaron a ser los 1 y 4, llamándose 2 y 3 los nuevos intercalados. La base de recuperada quedó con 60 m.

Base lineal multipunto de la ETSITGC (UPM)



Los pilares nuevos 2 y 3 se intercalaron de forma que las distancias medibles siguen el criterio Schwendener

APLICACIÓN PARA EDM ORDINARIOS

En distancias de hasta 1 km la diferencia arco - cuerda no es significativa para EDMs submilimétricos (<0,1 mm).

En distancias de hasta 10 km la diferencia arco - cuerda no es significativa para EDMs ordinarios (<1 mm).

Los prismas actuales no generan errores significativos de C_e con las desorientaciones residuales habituales.

En distancias cortas, las desorientaciones residuales habituales de los prismas ordinarios no generan errores significativos de dirección.

En distancias cortas, las desorientaciones residuales habituales de los miniprismas pueden generar errores significativos de dirección, especialmente en técnicas de control.

El error cíclico carece de significación en los EDMs actuales.

Los tramos de las bases de verificación deben tener terminaciones variadas para no sistematizar el error cíclico (actualmente residual).

Valbu facit 2009 - 2016

Fin

TOPO MOLA MAZO

elvalbu@yahoo.es

Gracias por la atención prestada

elvalbu@yahoo.es