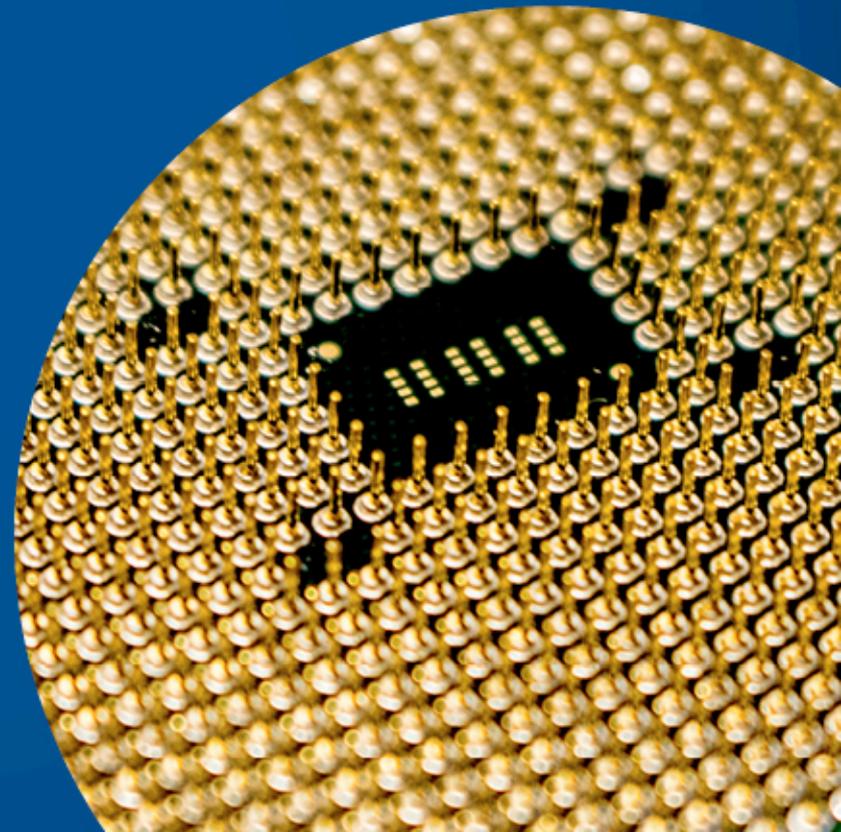


De la mira al chip. Evolución

Autor:
José Luis Valbuena



De la mira al chip

Evolución

EVOLUCIÓN

Hace no muchas décadas la medición topográfica se hacía con miras, tanto para radiación polar como para nivelación por alturas.

Las miras eran horizontales o verticales, con escalas o elementos de puntería en madera, aluminio, fibra o invar.

La medida indirecta de distancias se hacía con estadimetría.

En 1959 se hicieron las medidas pioneras con medios electrónicos.

Ahora sería totalmente ineficaz utilizar lectura analógica en instrumentos angulares, o diastimométrica -o de paralaje- en miras (salvo singulares y puntuales aplicaciones).

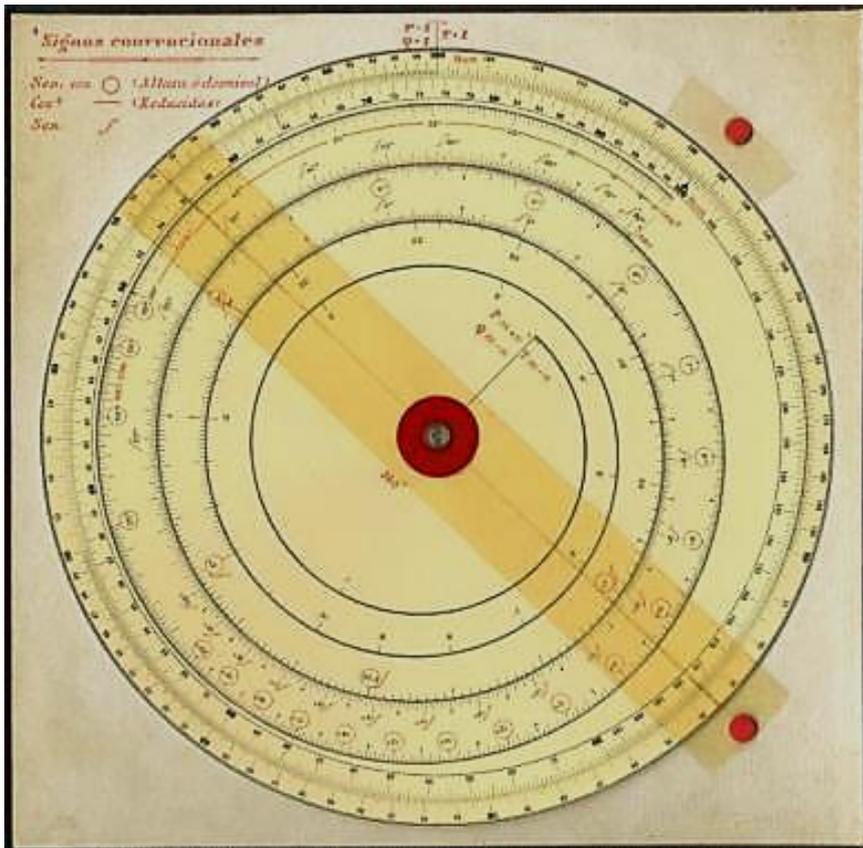
Paralelamente, la goniometría pasó de analógica a digital.

Actualmente los *chips* -microprocesadores- han desplazado las antiguas metodologías.

EVOLUCIÓN

Una evolución paralela fue la de los procesos de los datos de campo y el cálculo en general.

Las tablas fueron sustituidas por reglas y círculos de cálculo...



EVOLUCIÓN

... máquinas de
sumar...



EVOLUCIÓN

... y máquinas
de multiplicar

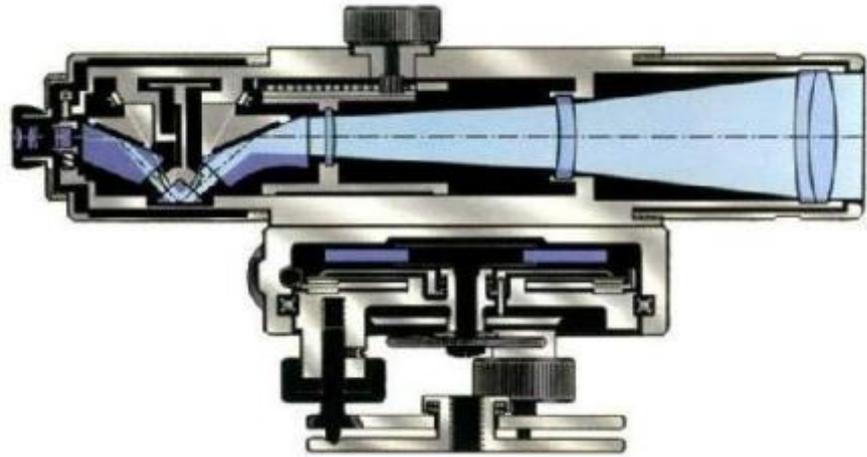
Pero esto habrá de
ser tratado en otra
ocasión.

Ahora veremos la
evolución en los
instrumentos
topográficos de tomar
medidas.



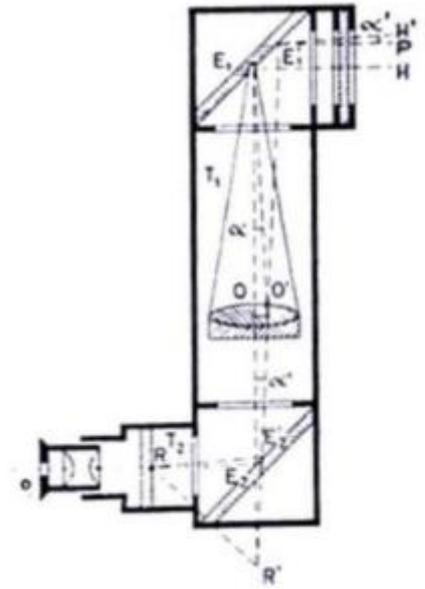
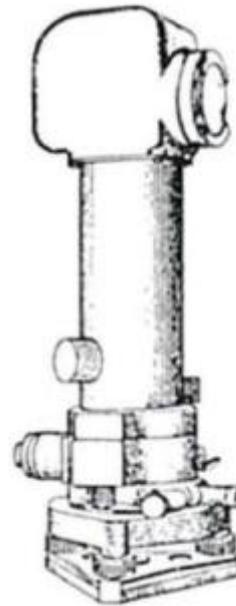
Medida de desniveles

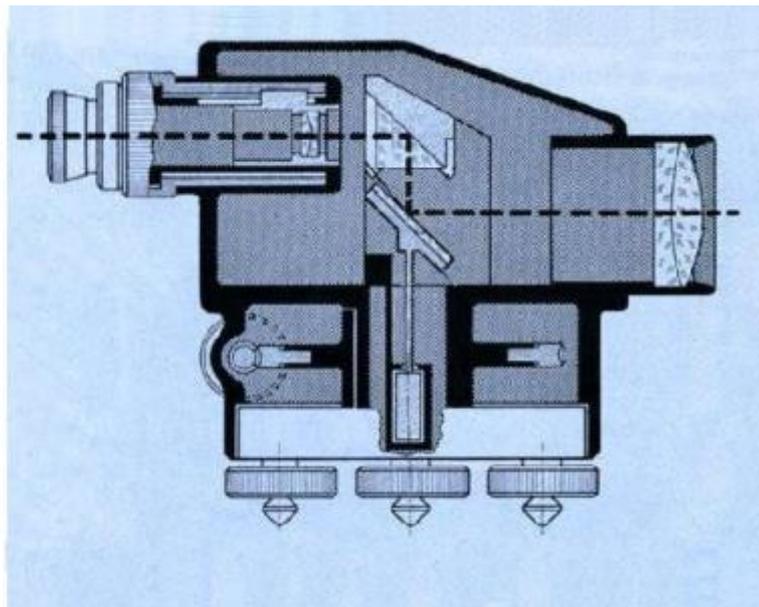
Breve reseña histórica de los niveles automáticos



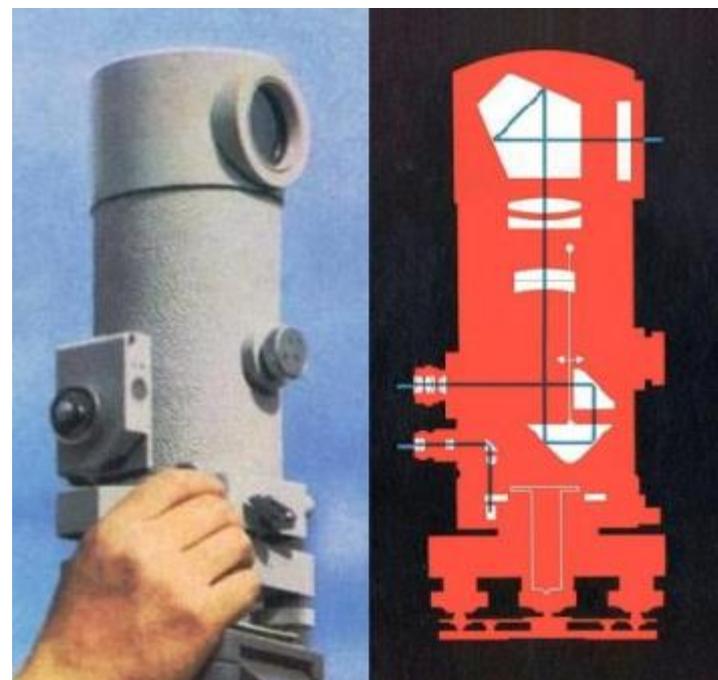
ZEISS OBERKOCHEN Ni 2 - 1950 (Primer nivel automático)

**SALMOIRAGHI 5.172
periscópico
1958**

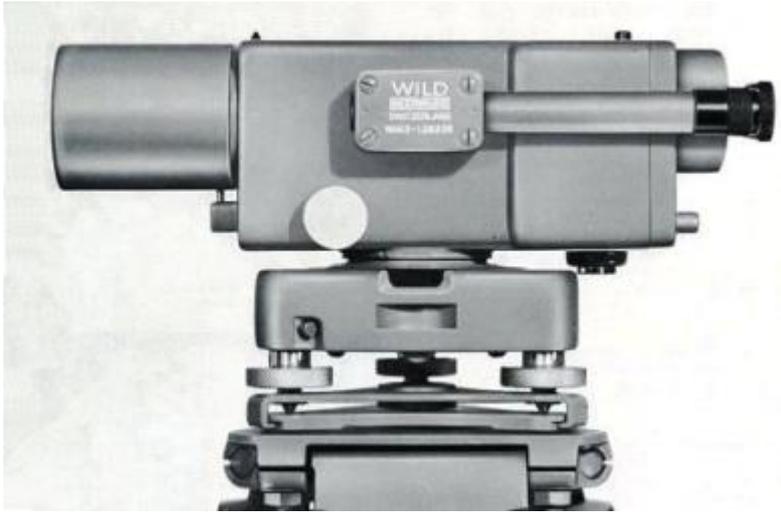




ASKANIA Na - 1959

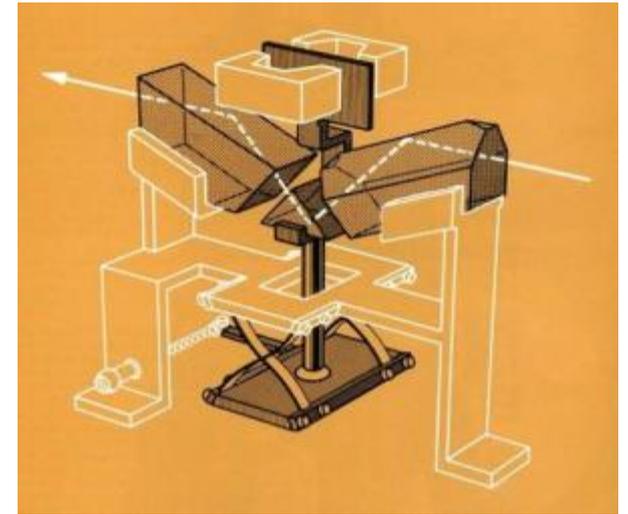


**ZEISS JENA
Ni 007
1965**

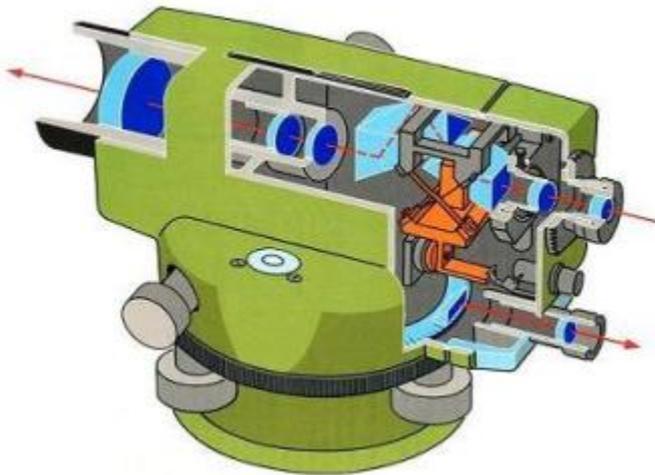


Proto 1971

WILD NA2



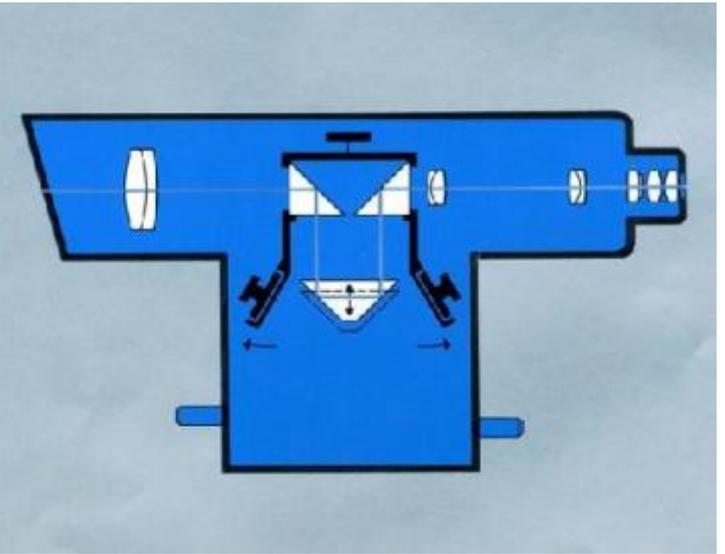
Compensador



Sección



Producción actual



ZEISS JENA Ni-050 - 1973

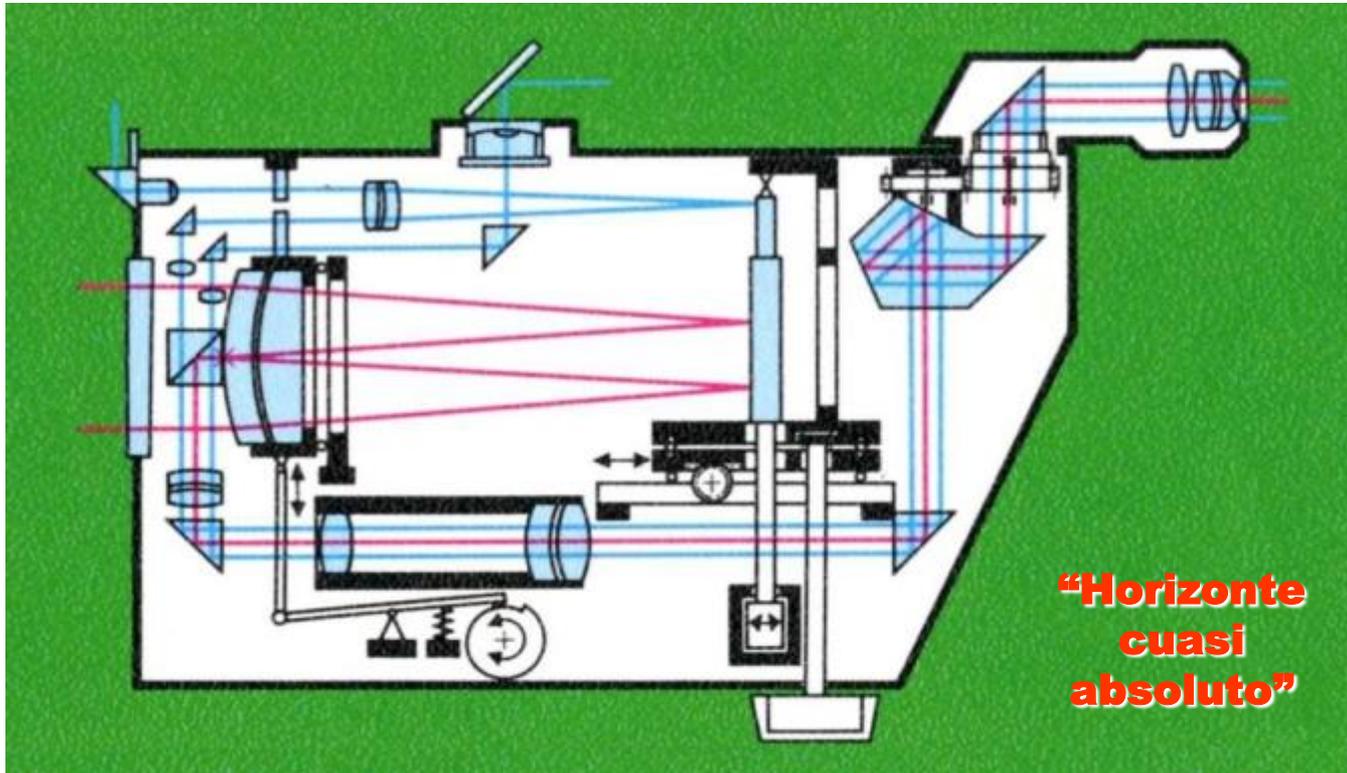
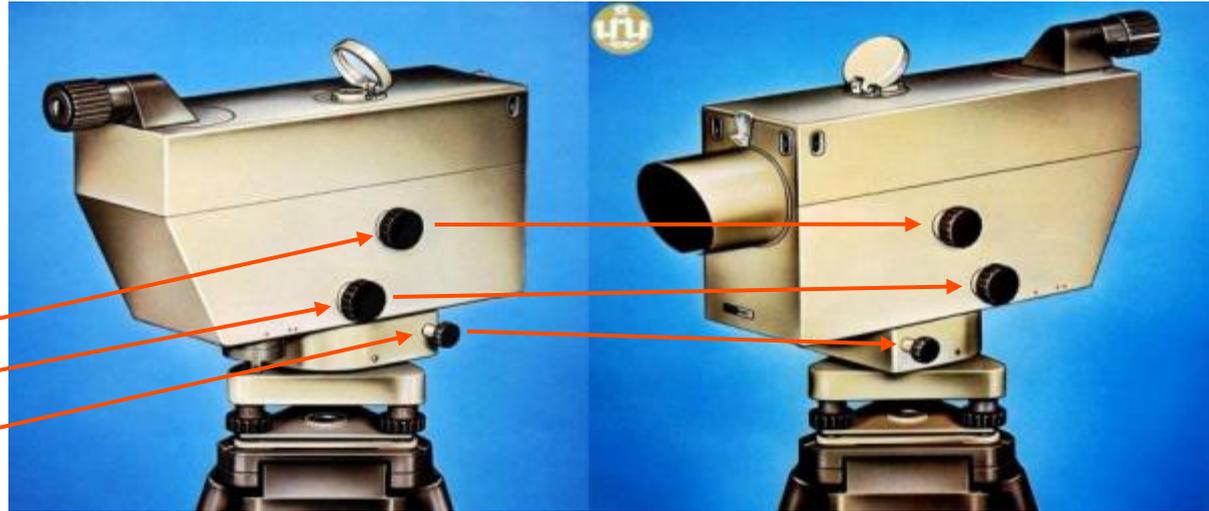


KERN GK0A - 1974

**ZEISS JENA Ni-002
1972**

Mandos dobles simétricos:

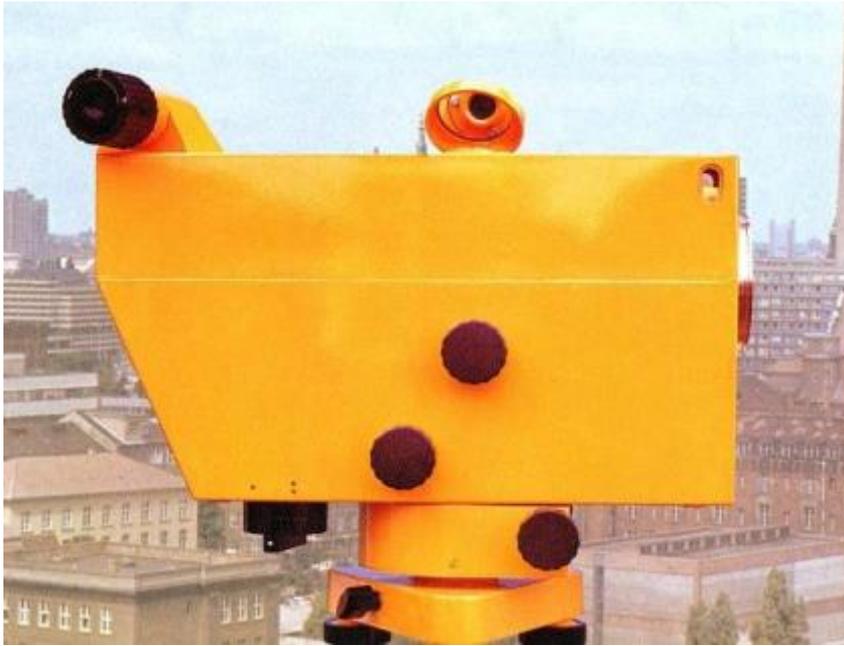
**enfoque
micrómetro
coincidencia**



40x

Micrómetro de desplazamiento de objetivo

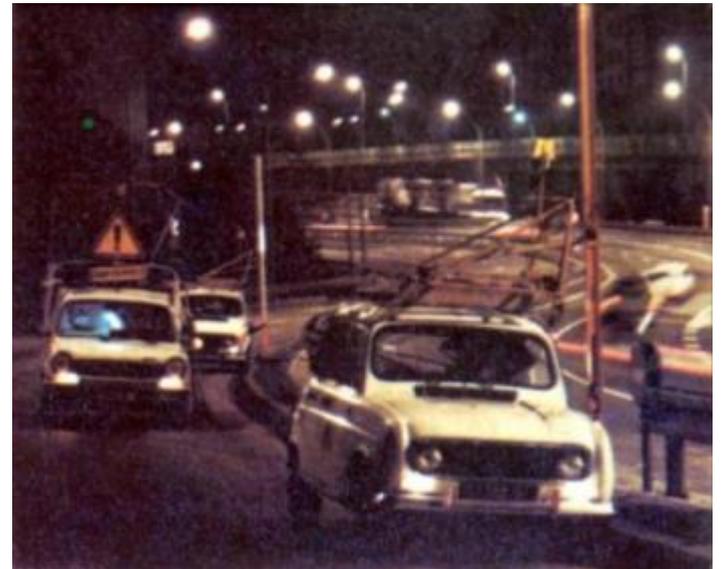
Compensador pendular reversible

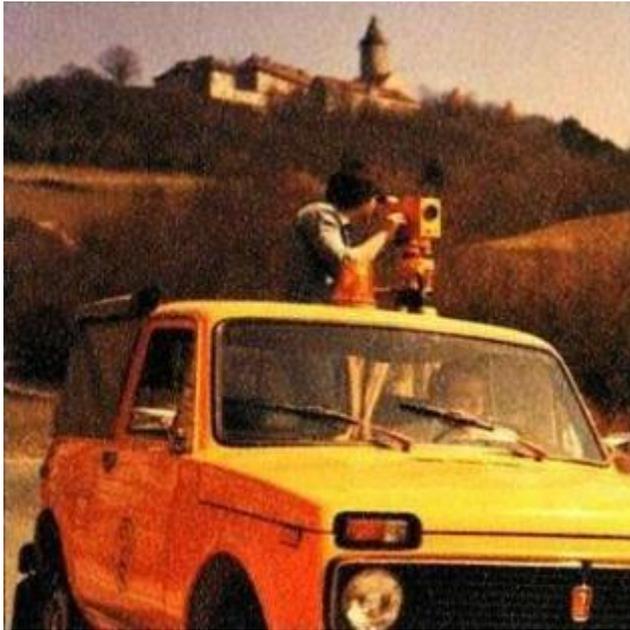


Ocular oscilante

Nivelación motorizada nocturna, en Francia

Simca 1200 y Renault 4





Nivelación motorizada en la RDA

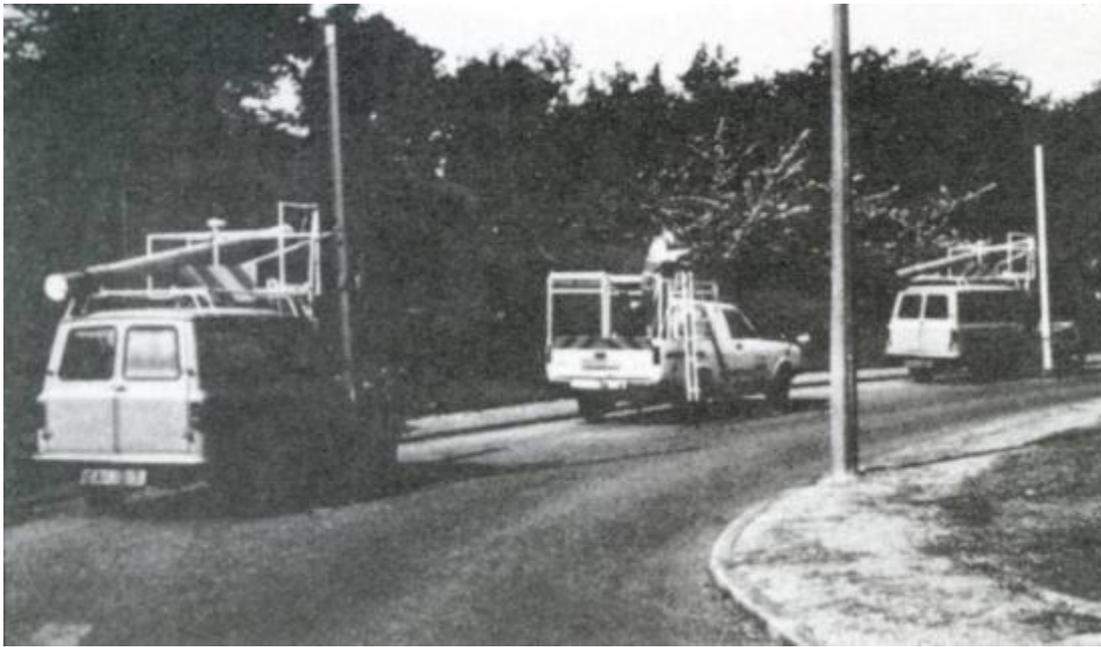


Lada y Trabant



**También se utilizó el
ZEISS Ni007**

**Al no tener mandos
duplicados ni ocular
orientable, el nivel tenía
que estar centrado en la
plataforma del coche
(aunque apoyaba sobre el
suelo, claro).**



**Nivelación
motorizada...**

**... en carretera
abierta al tráfico**





El IGN francés llegó a hacer nivelación trigonométrica motorizada (1983)

Recíprocas, no simultáneas, con instrumentos KERN

Distanciómetro DM 502 y teodolitos E1 y DKM-2

Precisión $3\text{mm} \sqrt{K}$

Velocidad 5 km/h

Transición de analógica a los niveles digitales

En 1966, el profesor Zetsche, de Bonn, desarrolló un prototipo en el que la lectura ya se hacía en el instrumento, no leyendo en la mira.

La mira tenía una codificación gráfica parecida a las actuales.

El observador visaba la mira y superponía su imagen, ajustando su tamaño con un zoom, sobre una imagen patrón existente en el instrumento.

La coincidencia, subjetiva, se hacía desplazando la imagen patrón del instrumento sobre la de la mira. El desplazamiento físico se realizaba en el instrumento, en el que se hacía la lectura.

Sin electrónica era un límite no superable.

Transición de analógica a los niveles digitales

**NO HA SIDO
POSIBLE
ENCONTRAR
IMÁGENES DEL
PROTOTIPO**

**Esto es lo único que
se puede encontrar
en Internet**

3. Developments leading to the current digital levels

The legitimate predecessor of today's digital levels is undoubtedly the development by Professor Zetsche in Bonn which, as early as in 1966 [1] defined all fundamental features of the electronic levelling technique. It was the first laboratory instrument to incorporate the imaging of a special staff pattern in the image plane, the recording, shifting and variation of the scale as a function of the distance involved, and the optical transmission function. Since no suitable optical sensors or sensor arrays were available at that time, the setting of special marks on the levelling staff (Fig. 1) still had to be performed by the operator, and the change in scale as a function of distance was compensated by an optical zoom system. The evaluation and display, however, had already been digitized to the extent that the vertical displacement of the staff image was measured in the instrument by an incremental transducer.

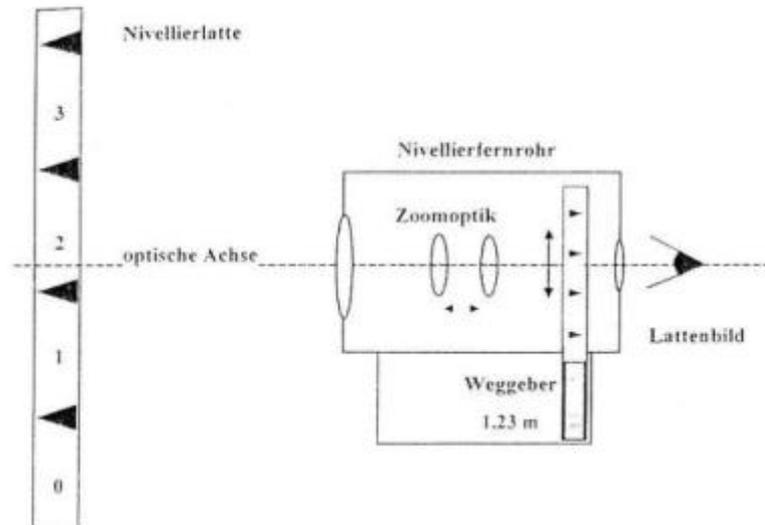
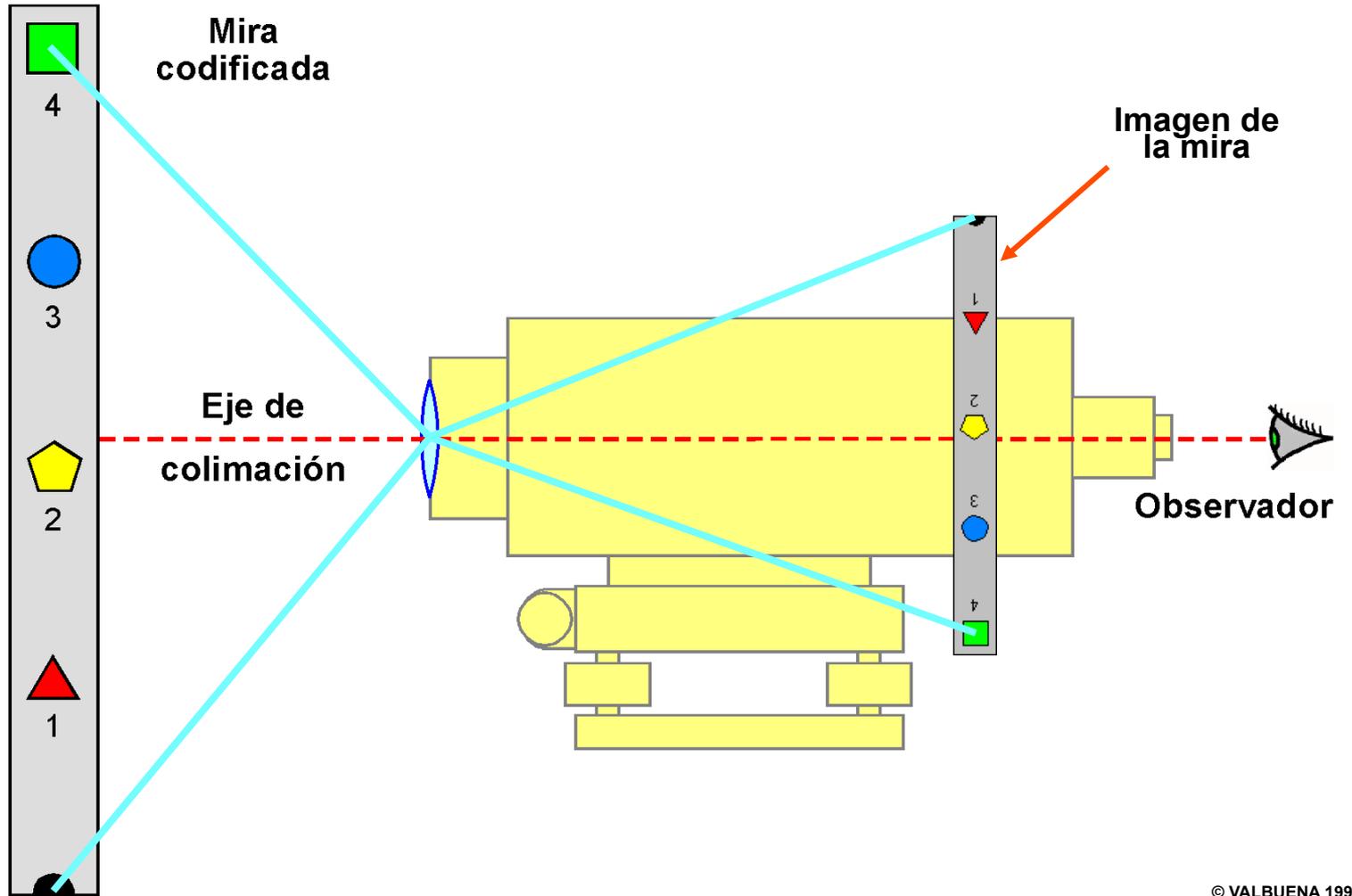


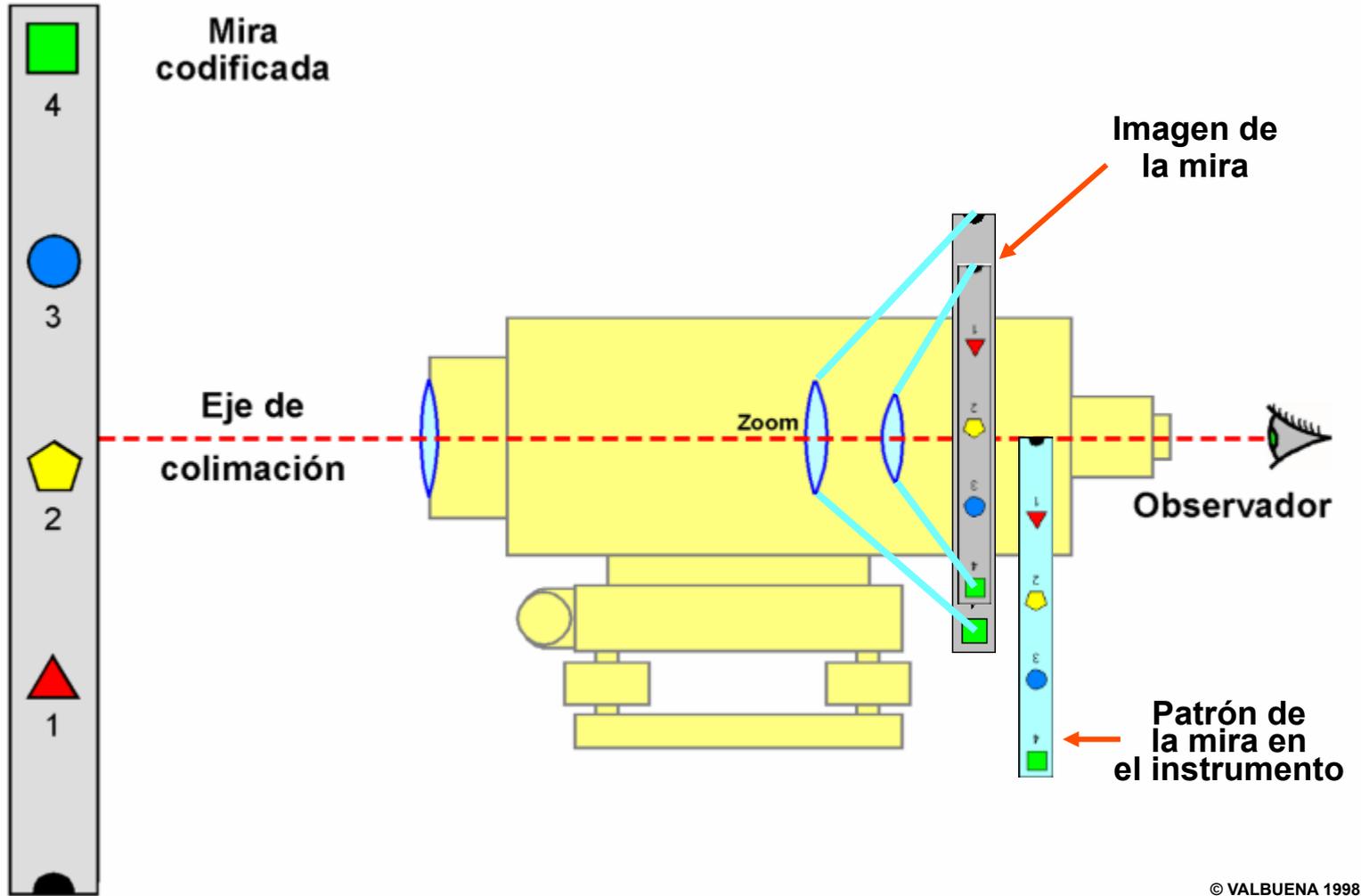
Fig. 2. Design principle of the "digital level" developed in Bonn

Proto de ZETSCHE



En el prototipo de ZETSCHE se formaba una imagen de la mira

Proto de ZETSCHE

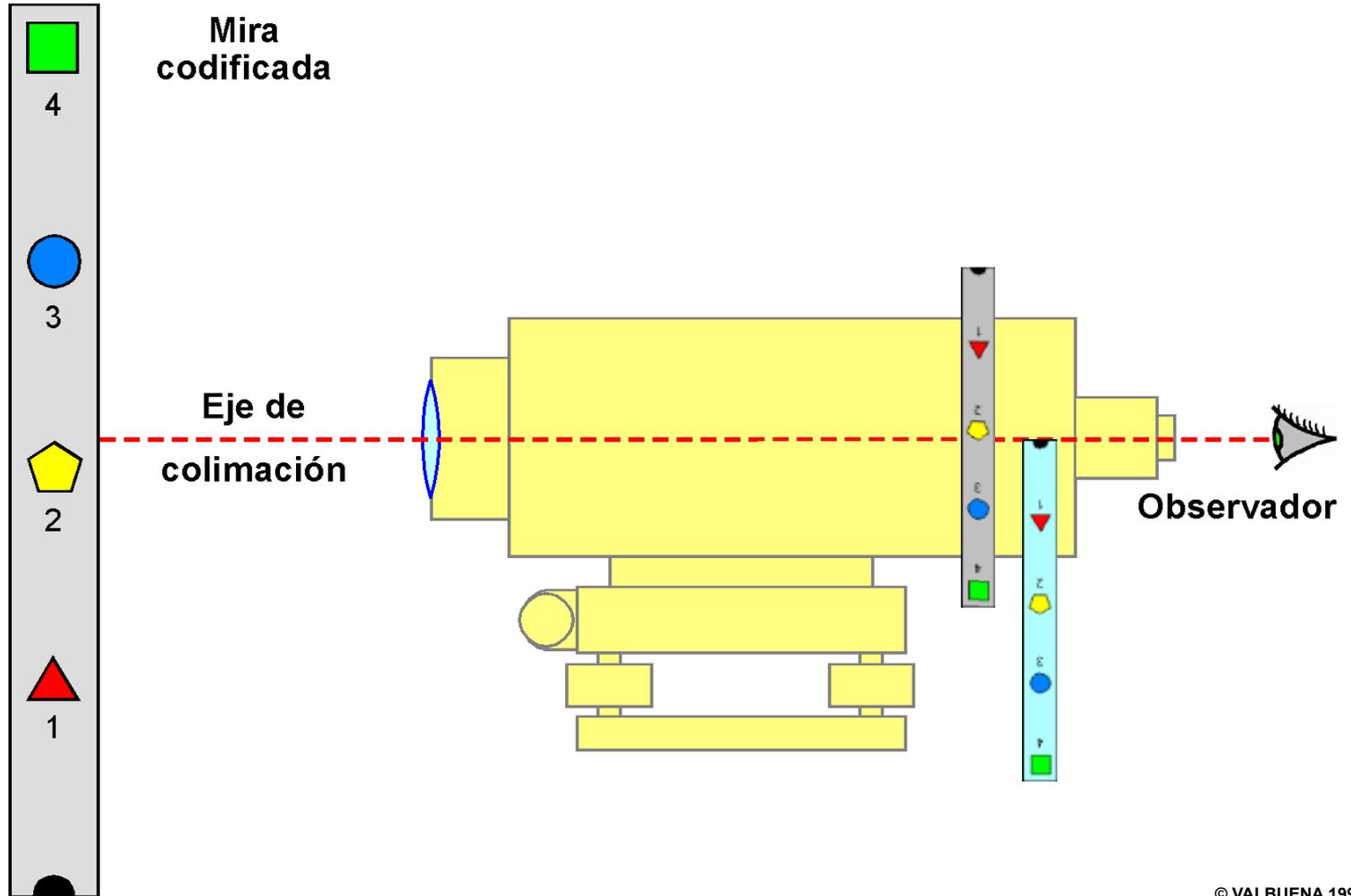


© VALBUENA 1998

La imagen de la mira se ajustaba con un zoom...

... al tamaño del patrón

Proto de ZETSCHE



© VALBUENA 1998

Imagen y patrón se habían de superponer

Proto de ZETSCHE

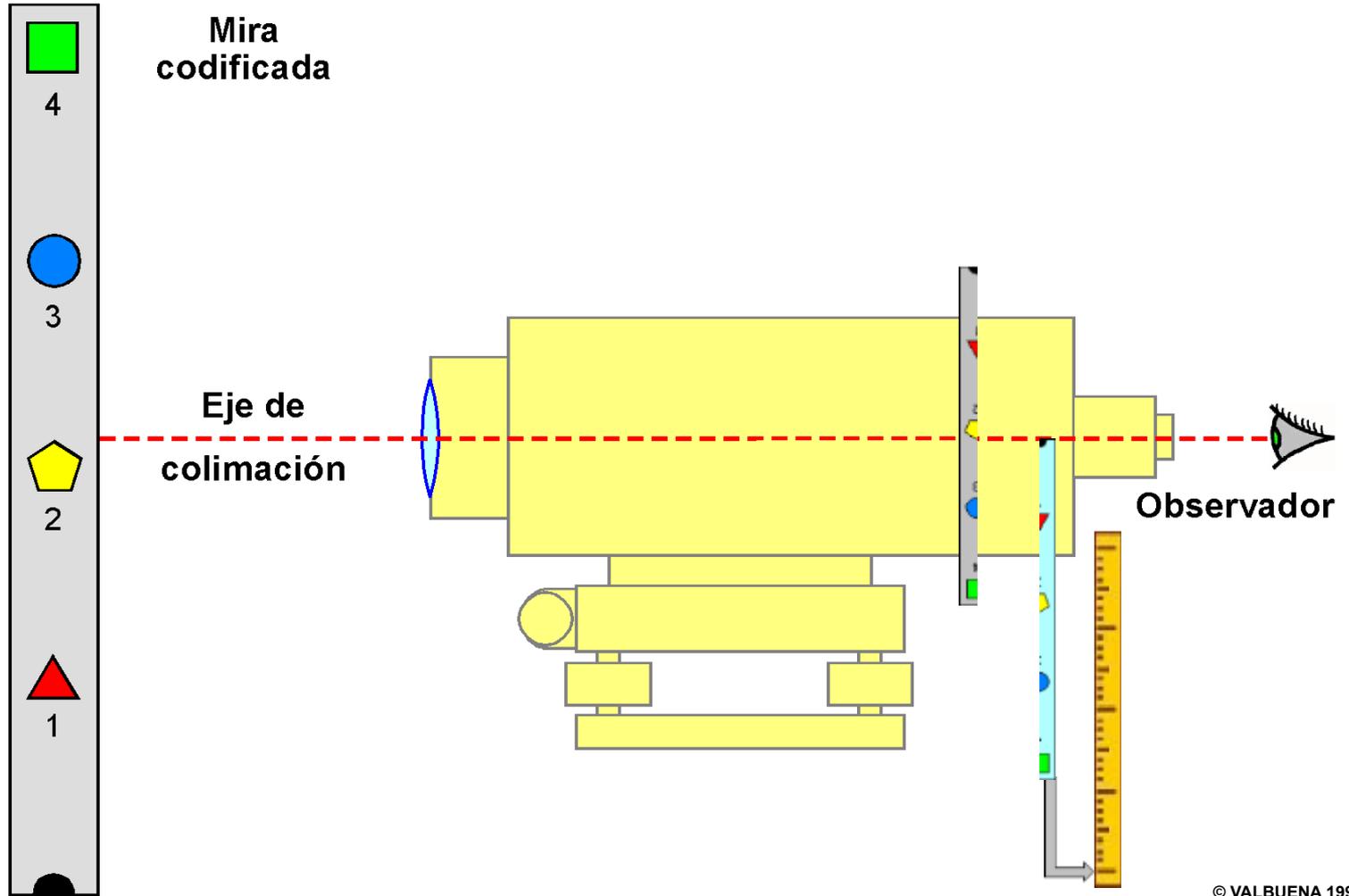
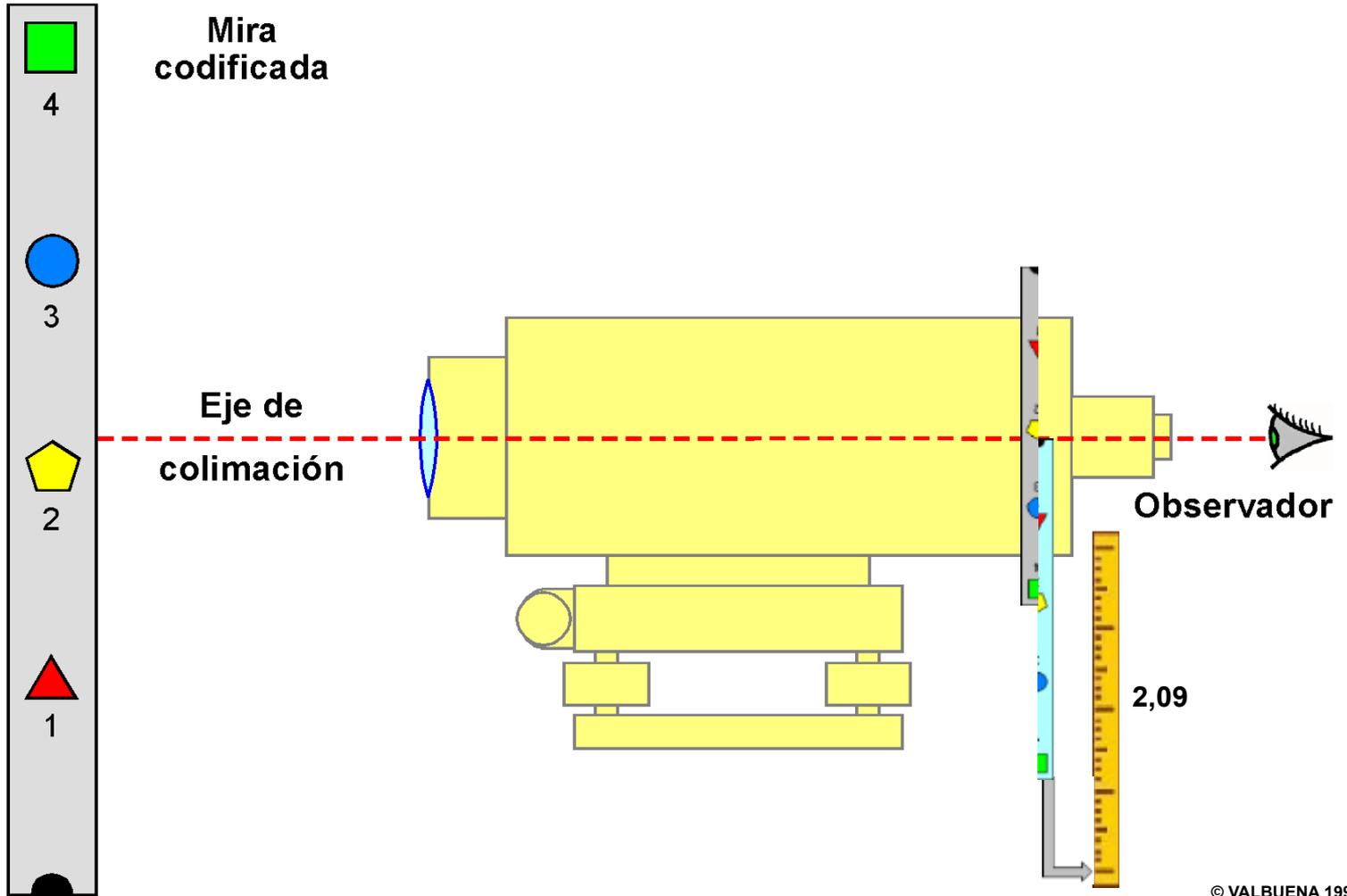


Imagen y patrón se habían de superponer

El patrón poseía un índice que se movía sobre una escala

Proto de ZETSCHE



© VALBUENA 1998

Imagen y patrón se habían de superponer

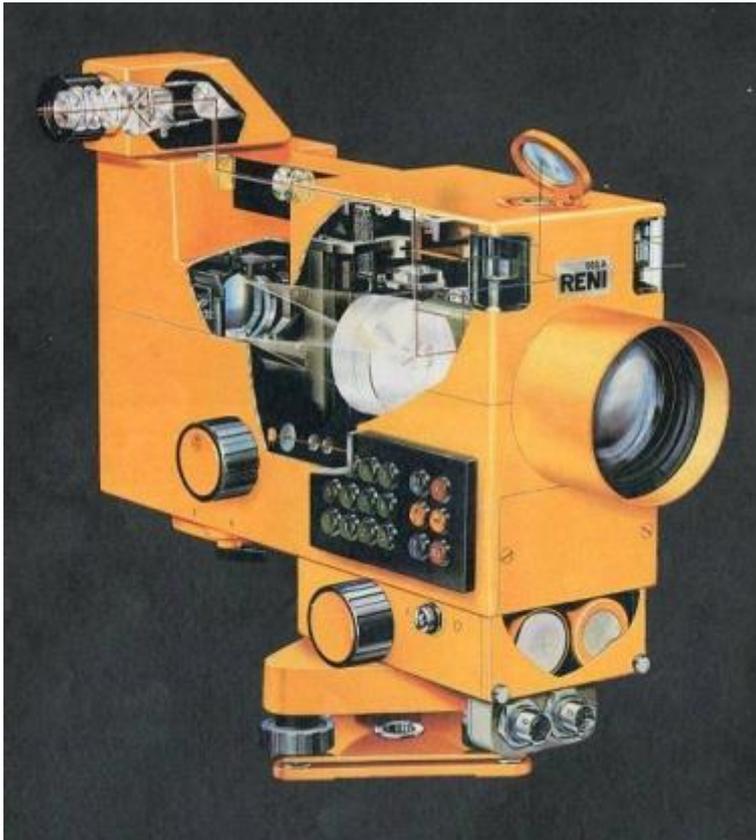
Y la lectura se hacía EN EL INSTRUMENTO.

¡POR PRIMERA VEZ!

Transición electrónica a los niveles digitales

En 1988 ya había microprocesadores.

ZEISS JENA presentó el nivel automático electrónico analógico/digital **RENI 002A**



Utilizaba
miras
analógicas
invar
ordinarias.



Se hacía coincidencia con el retículo de cuña, y se introducía la lectura de la mira (m, dm y cm) por el teclado.

El instrumento añadía la lectura digital del micrómetro, hecha con codificador.

Todo se registraba en la memoria interna.

Transición electrónica a los niveles digitales



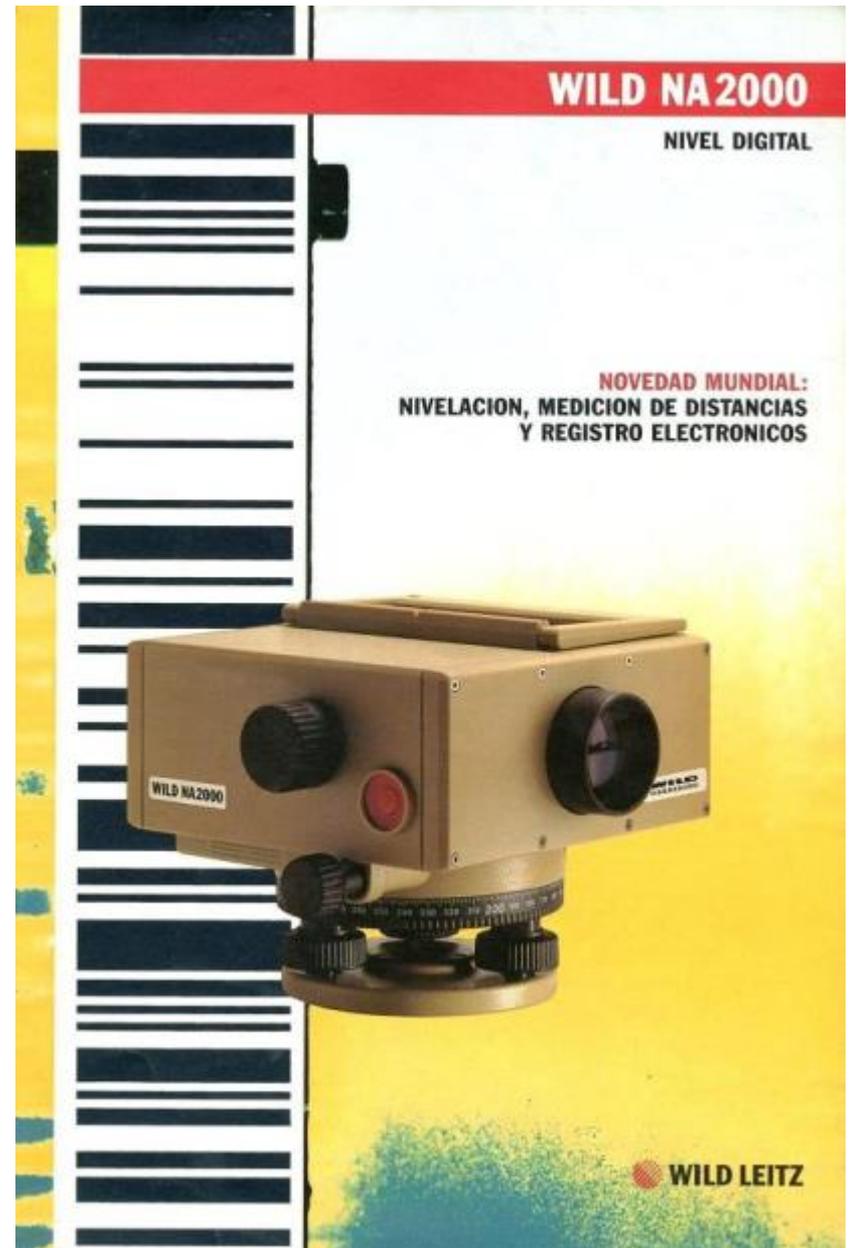
El RENI 002 se usó también en la nivelación motorizada

Fue el canto del cisne de esta técnica.

Niveles electrónicos

Los niveles digitales o electrónicos leen sobre una mira de código de barras (nivel CB).

En 1990 WILD presentó el NA 2000



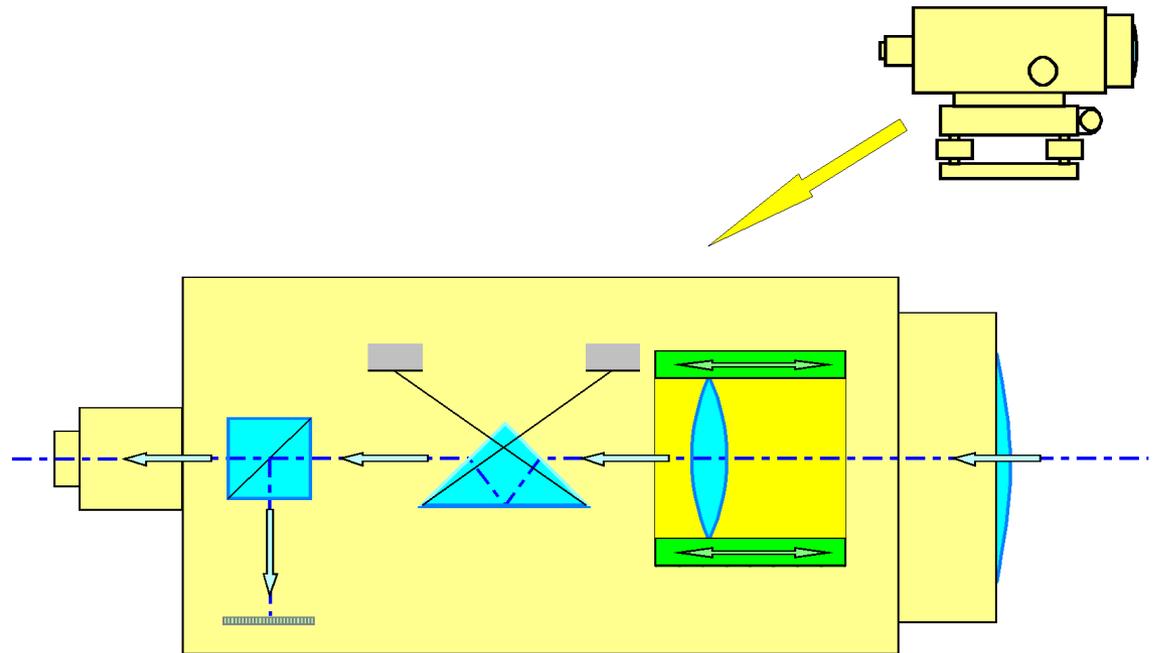
Portada del primer catálogo

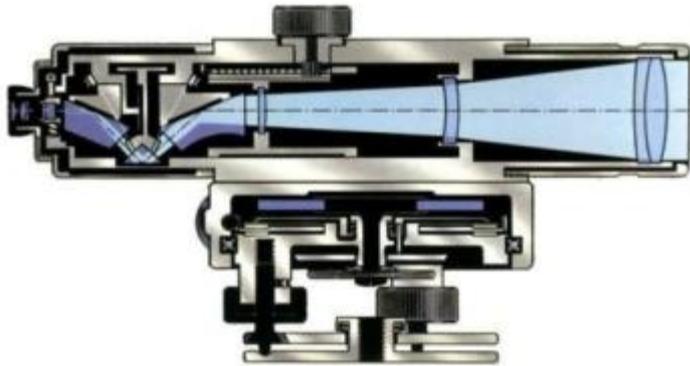
Los niveles CB son como un cruce entre un buen nivel automático y una cámara de vídeo que solo captase una línea vertical de la mira

Puede leer como un optomecánico ordinario (sin micrómetro) en una mira o escala analógica.

Puede hacer lectura electrónica sobre una mira codificada.

El instrumento nada emite. La lectura electrónica es pasiva, procesando la imagen de la mira.





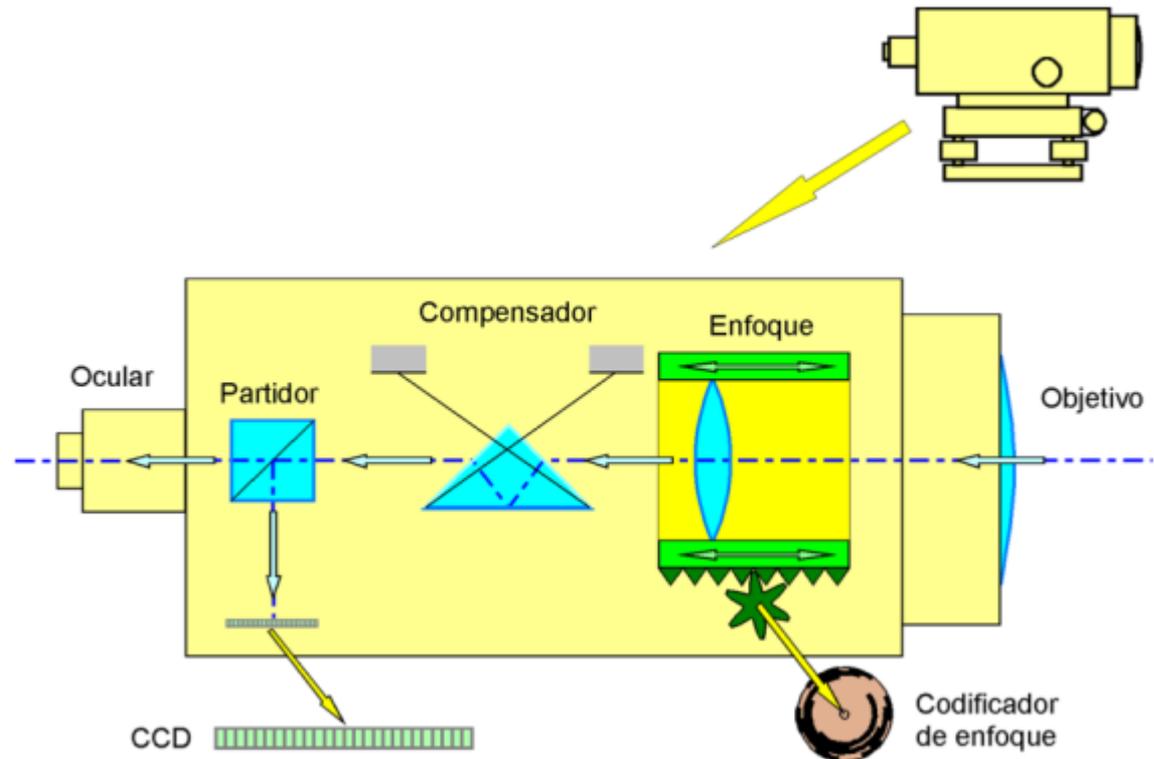
Los niveles CB comparten muchos elementos con los optomecánicos automáticos.

Incluyen *hardware* y *firmware* propios.

El tornillo de enfoque posee un codificador

Entre el compensador y el ocular hay un cubo partidor “*beam splitter*”

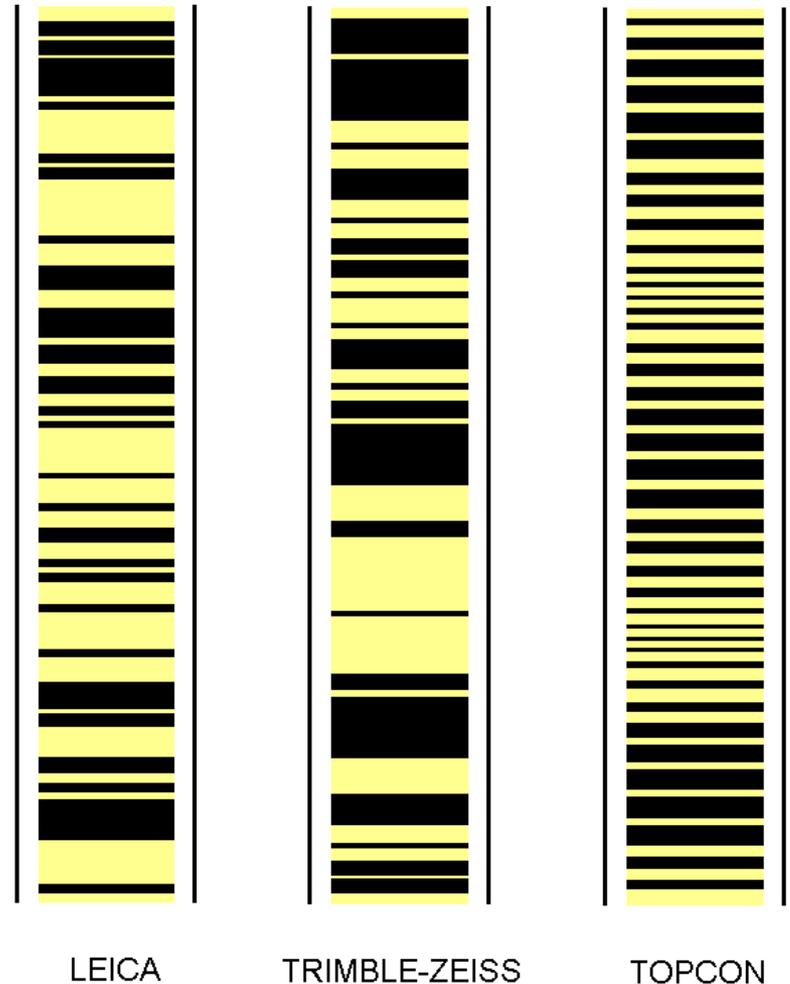
En el mosaico fotodetector (CCD) lineal se proyecta la imagen de la mira



En el mercado hay tres fabricantes de miras de código de barras, usando cada uno su propio patrón de codificación.

LEICA genera un 'código pseudoestocástico no periódico' (sic). El método de lectura se llama "correlación"

TRIMBLE-ZEISS integra en cada intervalo modular de 2 cm un código binario aleatorio, bifase, con líneas adicionales para mínima distancia. El método de lectura se llama "posición geométrica"



© VALBUENA 1998

TOPCON usa la resultante de dos patrones senoidales de diferente periodo. El método de lectura se llama "correlación de fase". La generación de este código es la única que puede exponerse conceptualmente

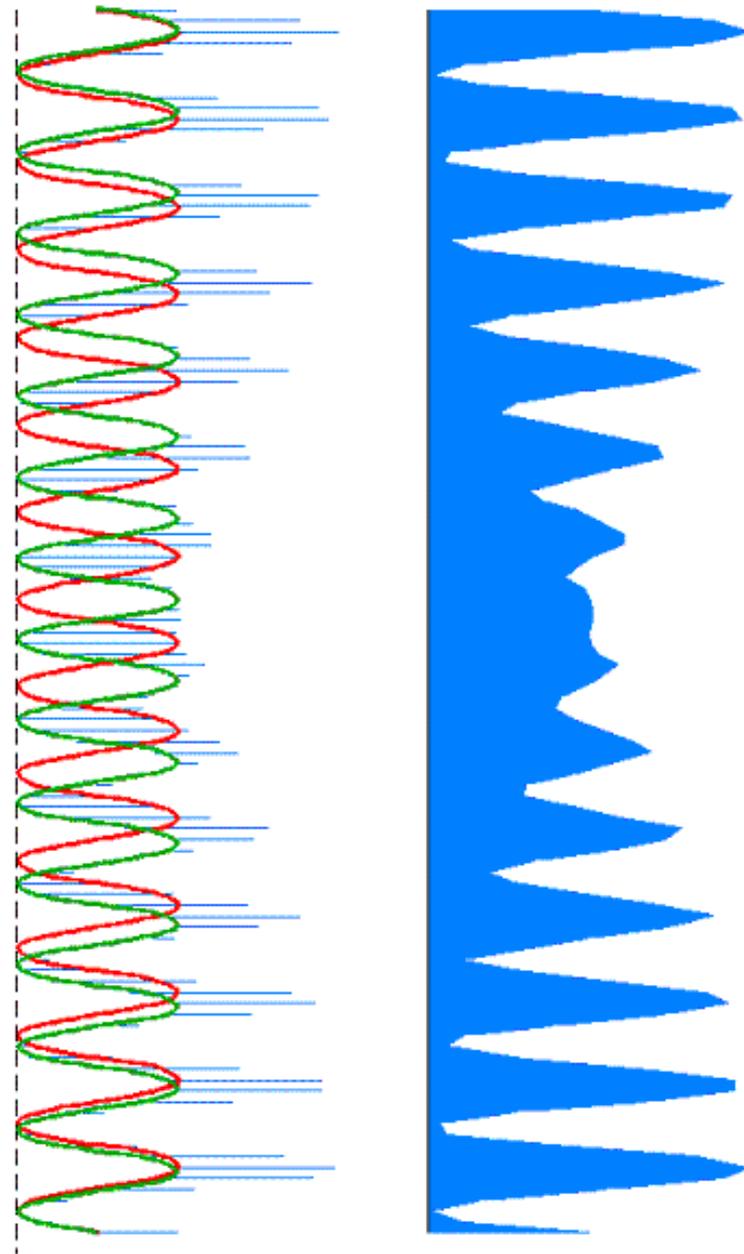
Generación del código de correlación de fase

Primera **senoide** ($n \lambda$)

Segunda **senoide** ($(n+1) \lambda$)

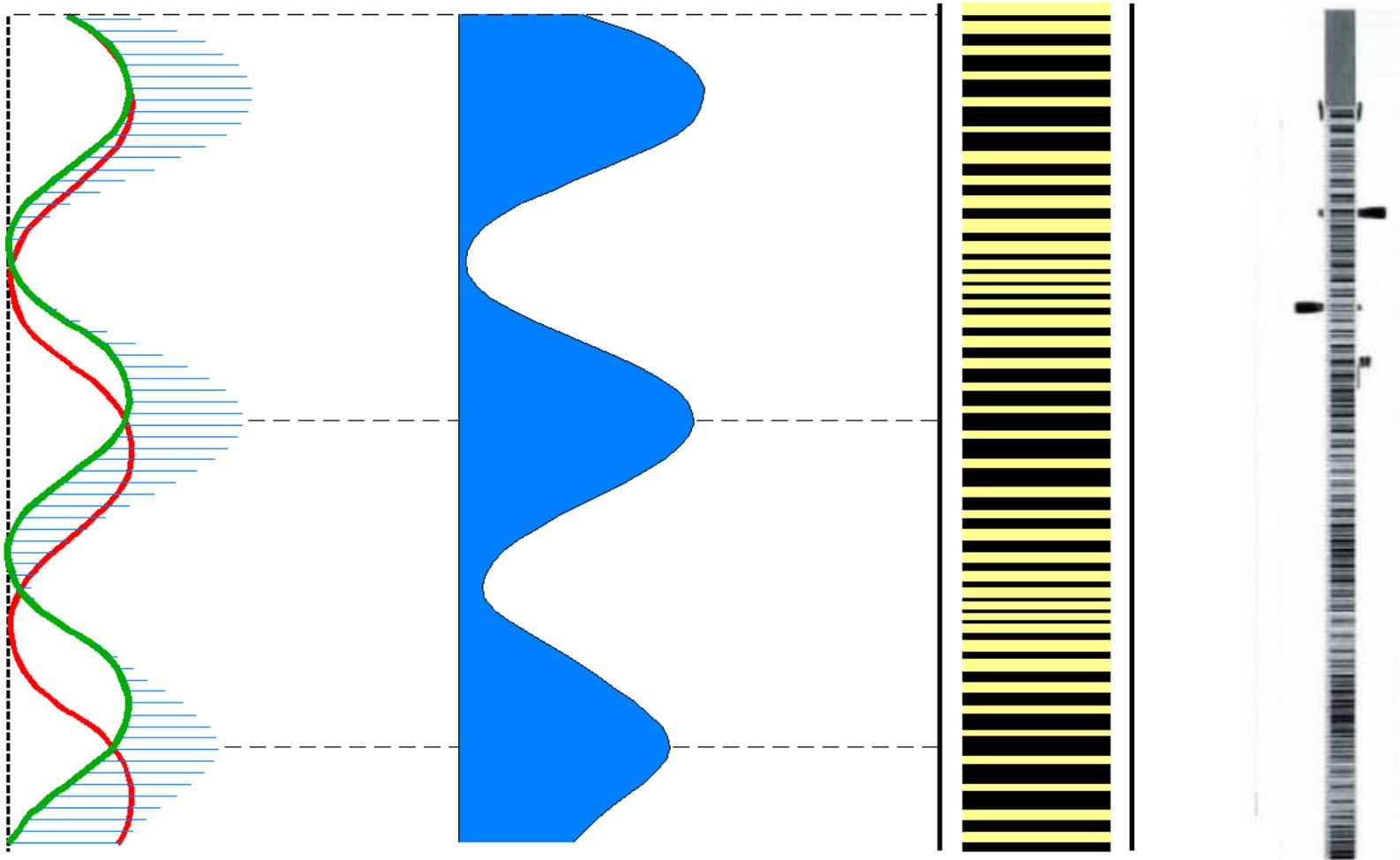
Incremento sobre la segunda **senoide** del componente de la primera **senoide**

Curva resultante

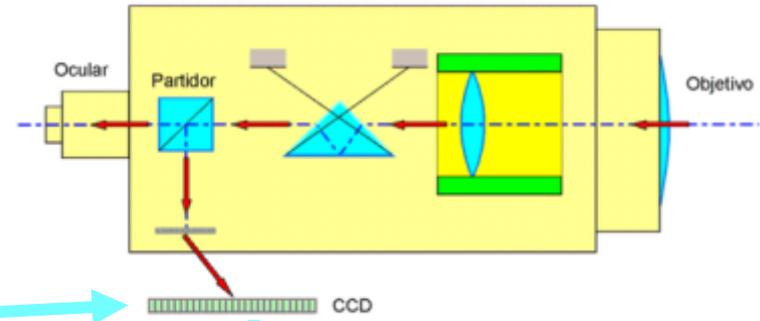
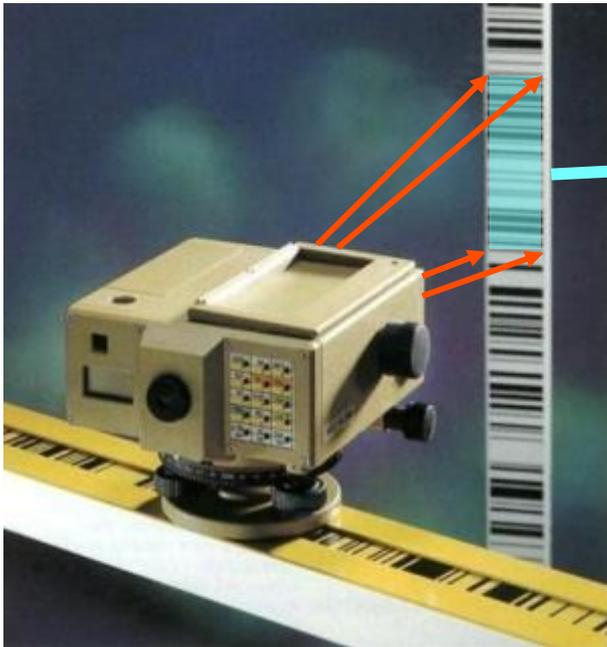


Generación del código de correlación de fase

La resultante, en detalle, y una mira real



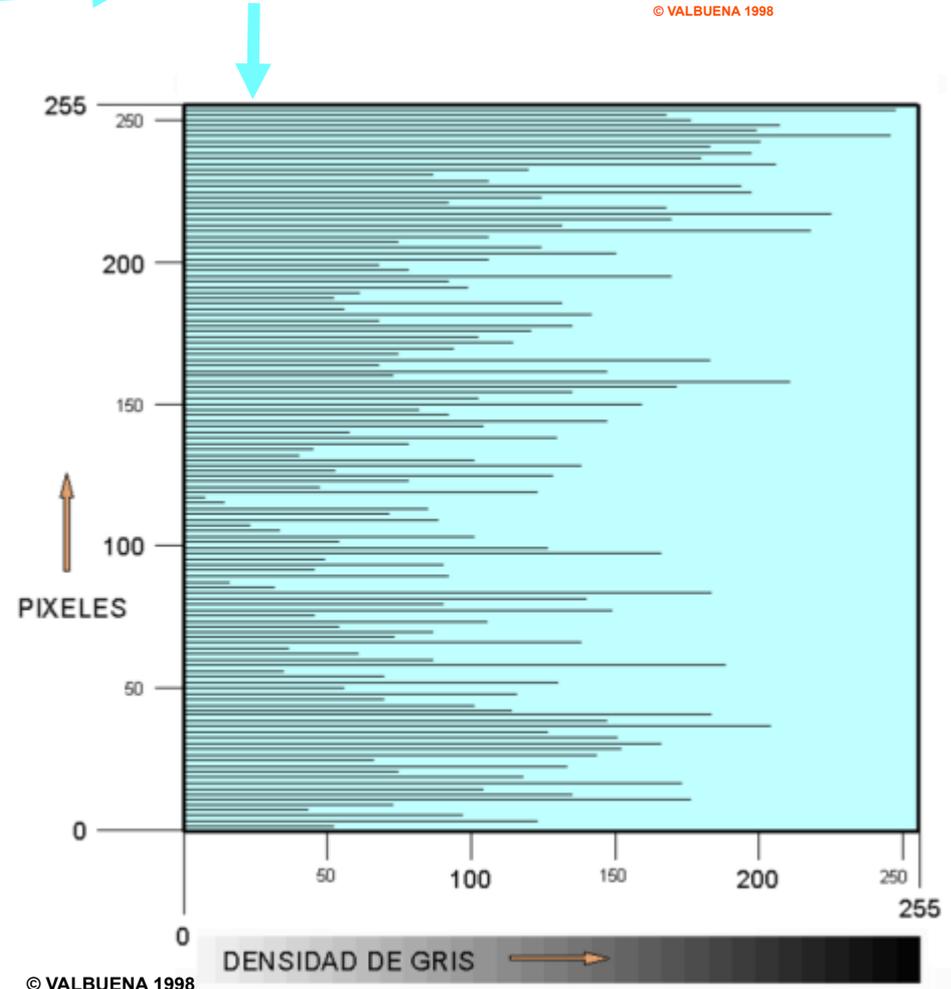
Análisis de imagen



El trozo de mira visible es
escaneado
monodimensionalmente...

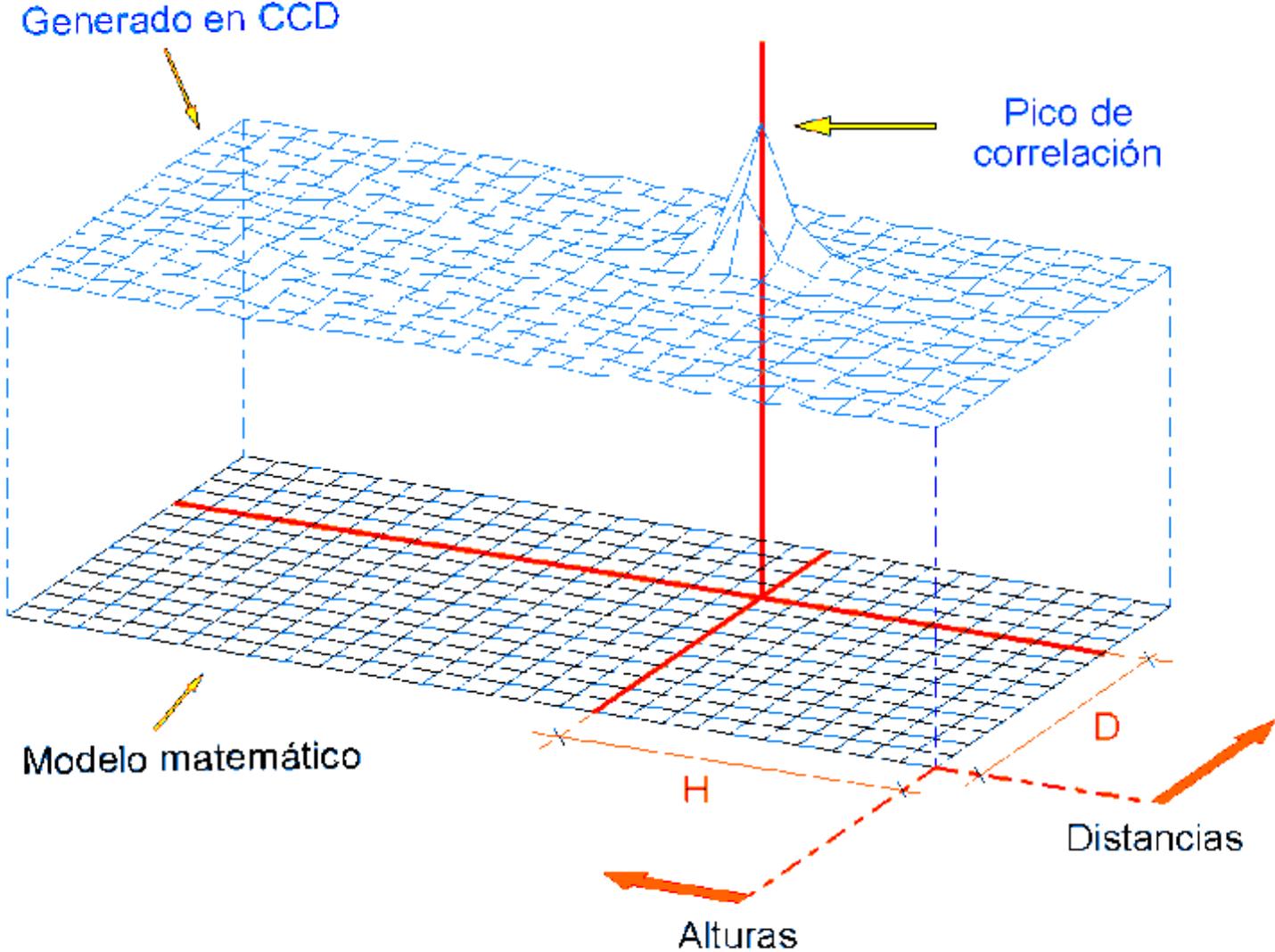
... y se obtiene una densitometría
de grises de 256 x 256 ($2^8 \times 2^8$)

Esta es la señal a correlar



Correlación de la señal

Finalmente se obtiene H y un valor fino de D



PROS

Los niveles CB dan un rendimiento superior y evitan los errores de transcripción.

No exigen especialización del observador.

Al analizar un tramo de mira, y no un punto, soportan mejor las turbulencias atmosféricas y las vibraciones.

En el menú hay la opción de observar sobre mira invertida (posada en clave de galería, por ejemplo).

Pueden leer con un trozo de mira oculta o bajo el origen.

Pueden ofrecer precisión estadística de la lectura.

Permiten mezclar observaciones a CB y a escalas analógicas (con submilimetría a estima para estas, porque no tienen micrómetro).

CONTRAS

Sólo pueden observar en miras de su fabricante.

Con poca luz la iluminación es crítica. Ha de ser uniforme y puede ser necesaria luz fluorescente.

GENERAL

Siempre hay dos modelos: el 'topográfico', que usa miras de fibra, y el 'geodésico', que usa miras invar. Por ejemplo: Leica DNA03 y DNA10, Topcon DL102C y DL101 y Trimble - Zeiss DiNI22 y DiNI12.

Los geodésicos se diferencian de los topográficos en sus ajustes, aumentos, centrados ópticos y compensadores. Suelen tener sensores térmicos para modelar sistematismos y un firmware más recurrente.

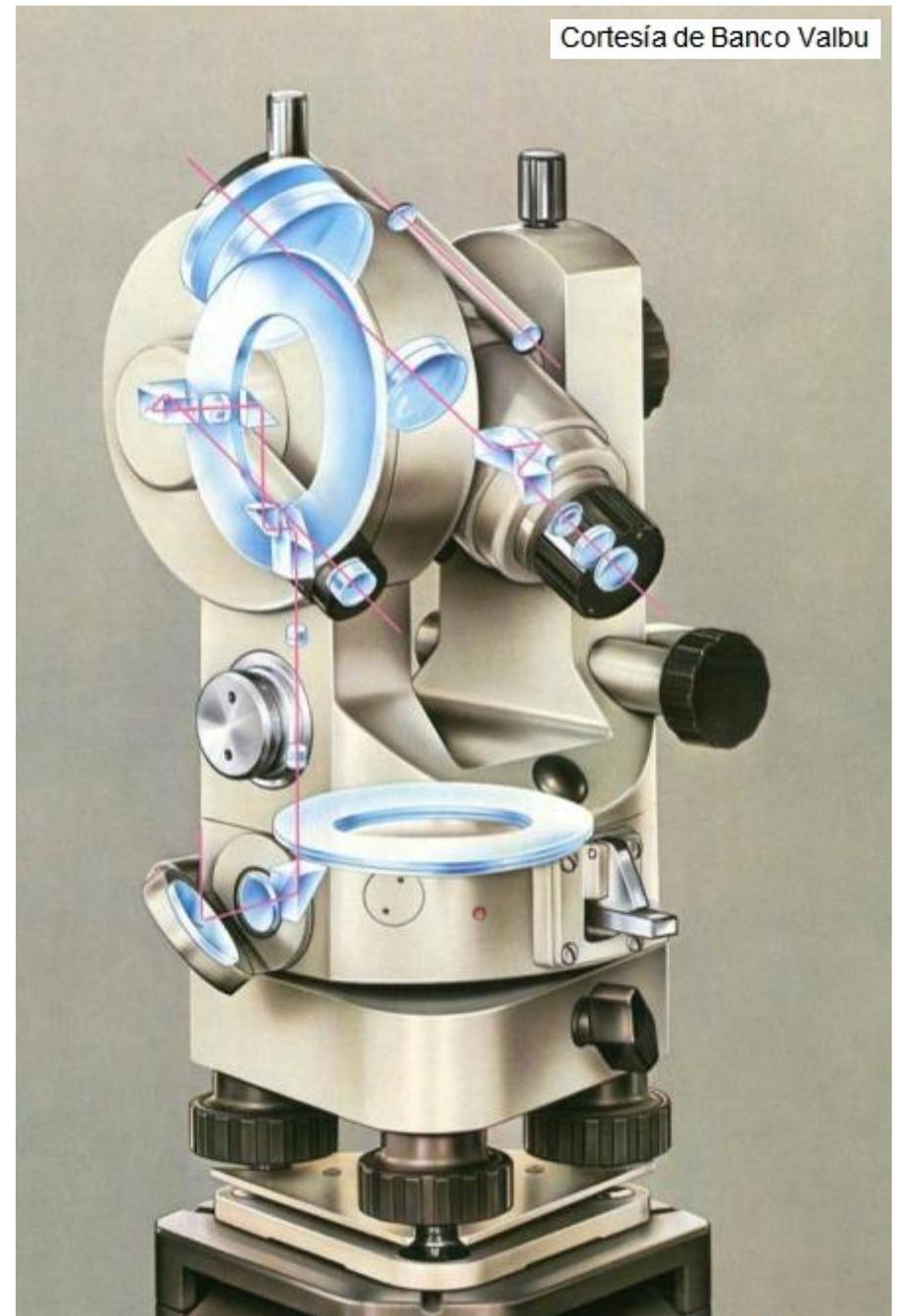
Las precisiones nominales oscilan entre $\pm 1,0$ y $\pm 1,5$ mm \sqrt{K} para los topográficos y entre $\pm 0,3$ y $\pm 0,4$ mm \sqrt{K} para los geodésicos.

La precisión en la medida de distancia es subcentimétrica hasta 10 m y subdecimétrica hasta el máximo alcance de 100 m.

Es esencial su verificación (digital y analógica), la del nivel esférico de la mira y revisar la tornillería del trípode.

Medida de ángulos

**En la evolución técnica, los
taquímetros y teodolitos
optomecánicos cambiaron sus
limbos metálicos, de escala
grabada, por limbos de vidrio,
con división fotográfica**



EVOLUCIÓN ESTRUCTURAL

Los taquímetros y teodolitos optomecánicos empezaron con modelos de limbo fijo...

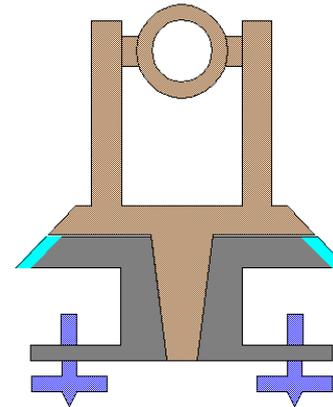
Reichenbach introdujo el limbo orientable. En ciertas condiciones podía haber arrastre entre alidada y limbo porque rozaban entre sí

Repsold independizó una de otro, pero su estructura impedía la “vuelta de campana”

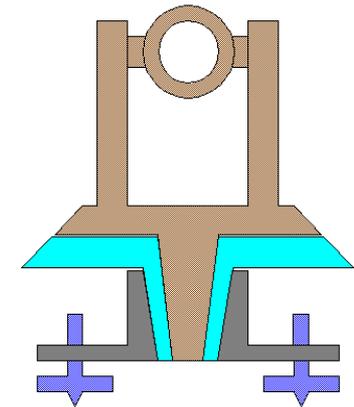
El definitivo diseño de Borda perduró, y es el definitivamente heredado por los optomecánicos (y, funcionalmente, por todos los goniómetros actuales)

Las disposiciones de Repsold y Borda impiden el arrastre de limbo.

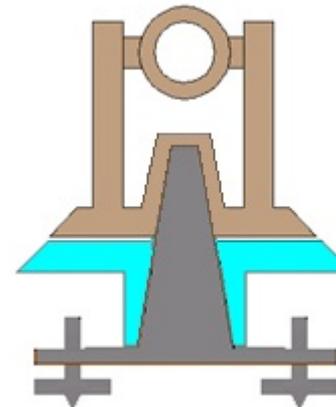
ALIDADA LIMBO
BASE NIVELANTE



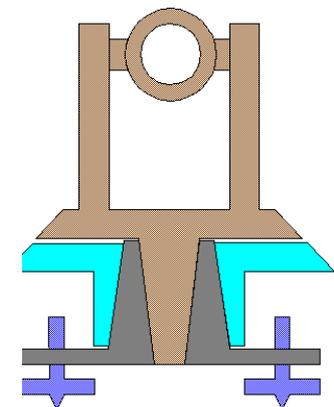
Limbo fijo



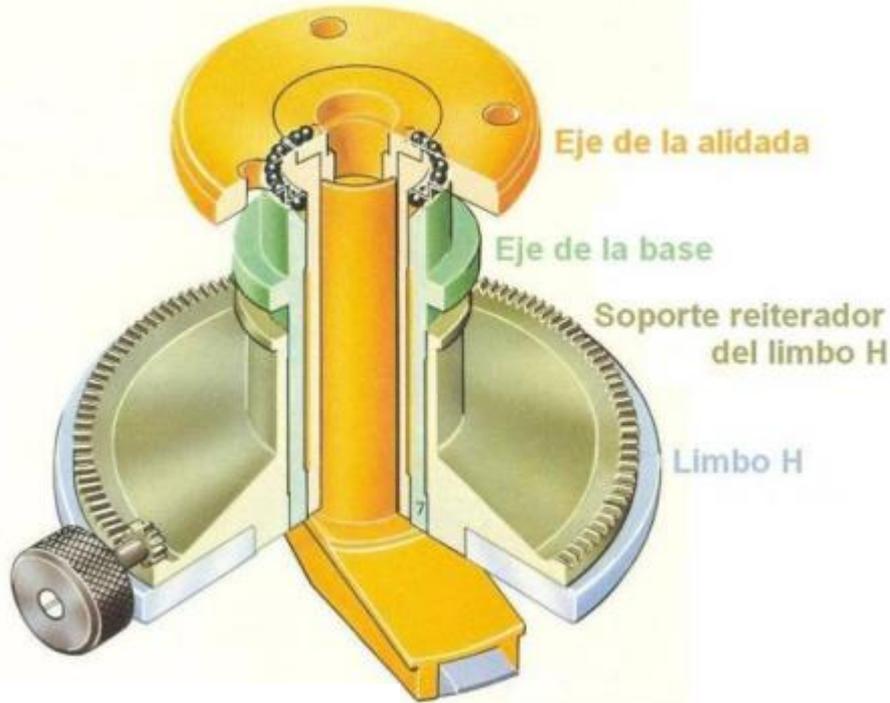
Reichenbach



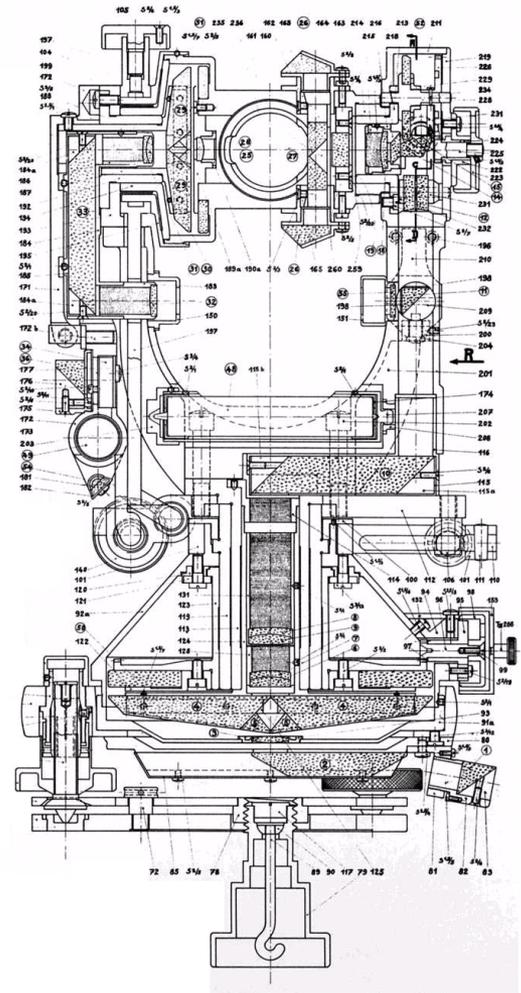
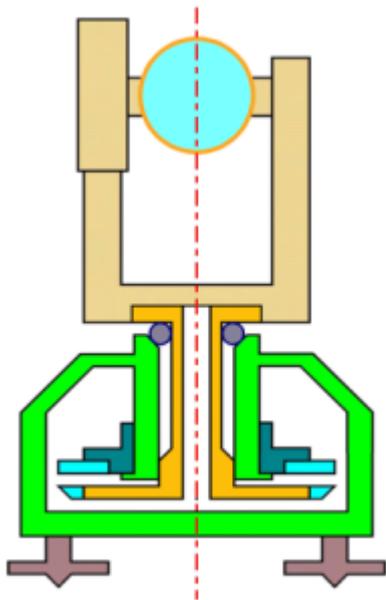
Repsold



Borda



**Eje “Kinetic”
del WILD T2**



**Diseño
original del
T2 por el Dr.
Heinrich
Wild (1920)**

En todos los instrumentos fabricados a partir de la década de 1940 el arrastre de limbo era ya imposible.

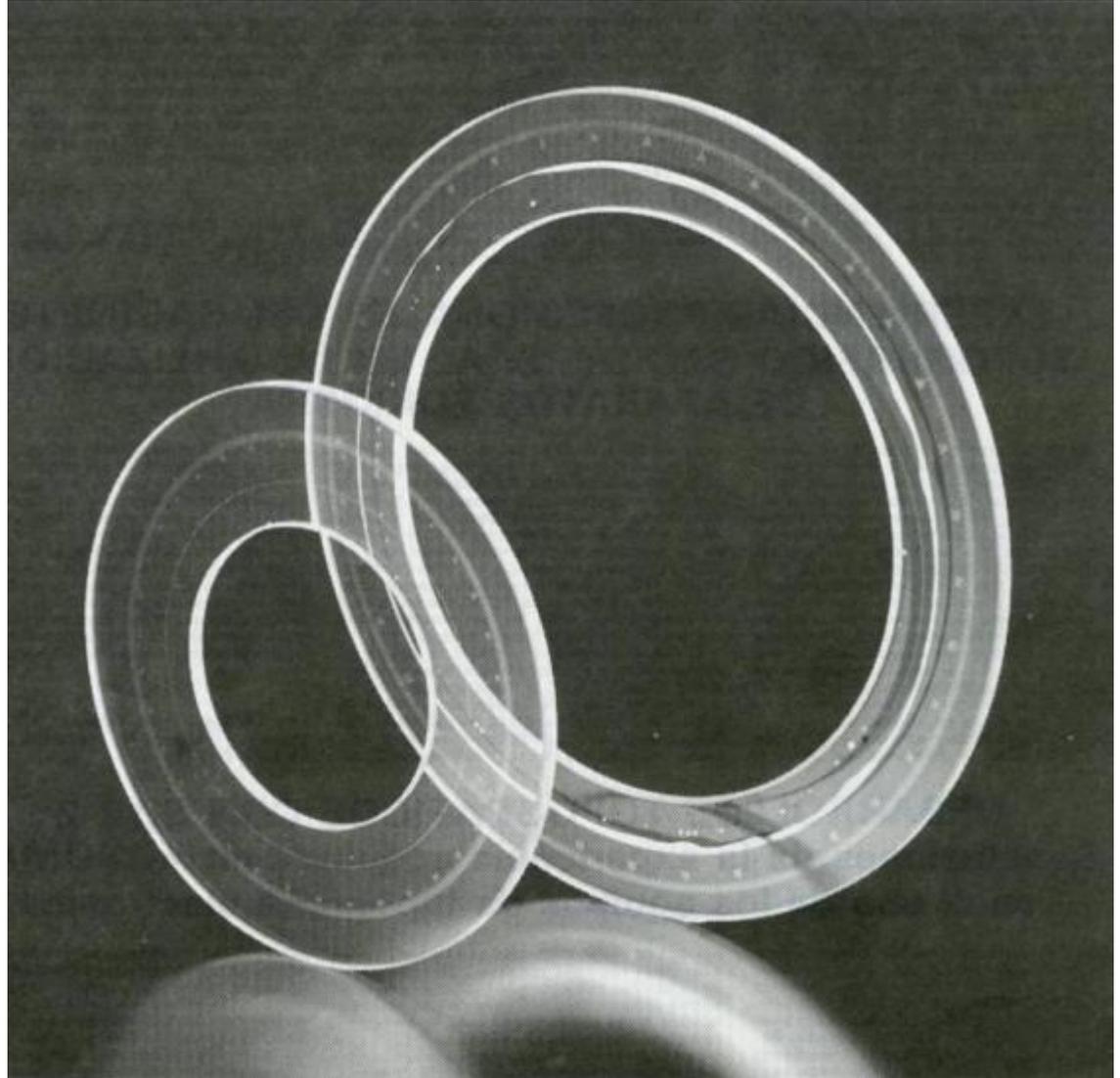
Desde entonces es indiferente el sentido de giro en las observaciones CD/CI de una vuelta de horizonte.

LIMBOS analógicos de vidrio

Los optomecánicos empezaron a descatalogarse en 1988, después de que los electrónicos irrumpieran en el mercado en 1982.

Sin normalización, de los optomecánicos sólo se publicaba la apreciación directa y la obtenible a estima, pero sin indicar sus precisiones reales.

A continuación se citan, los cuatro teodolitos optomecánicos más precisos que se fabricaron.



LIMBOS analógicos de vidrio

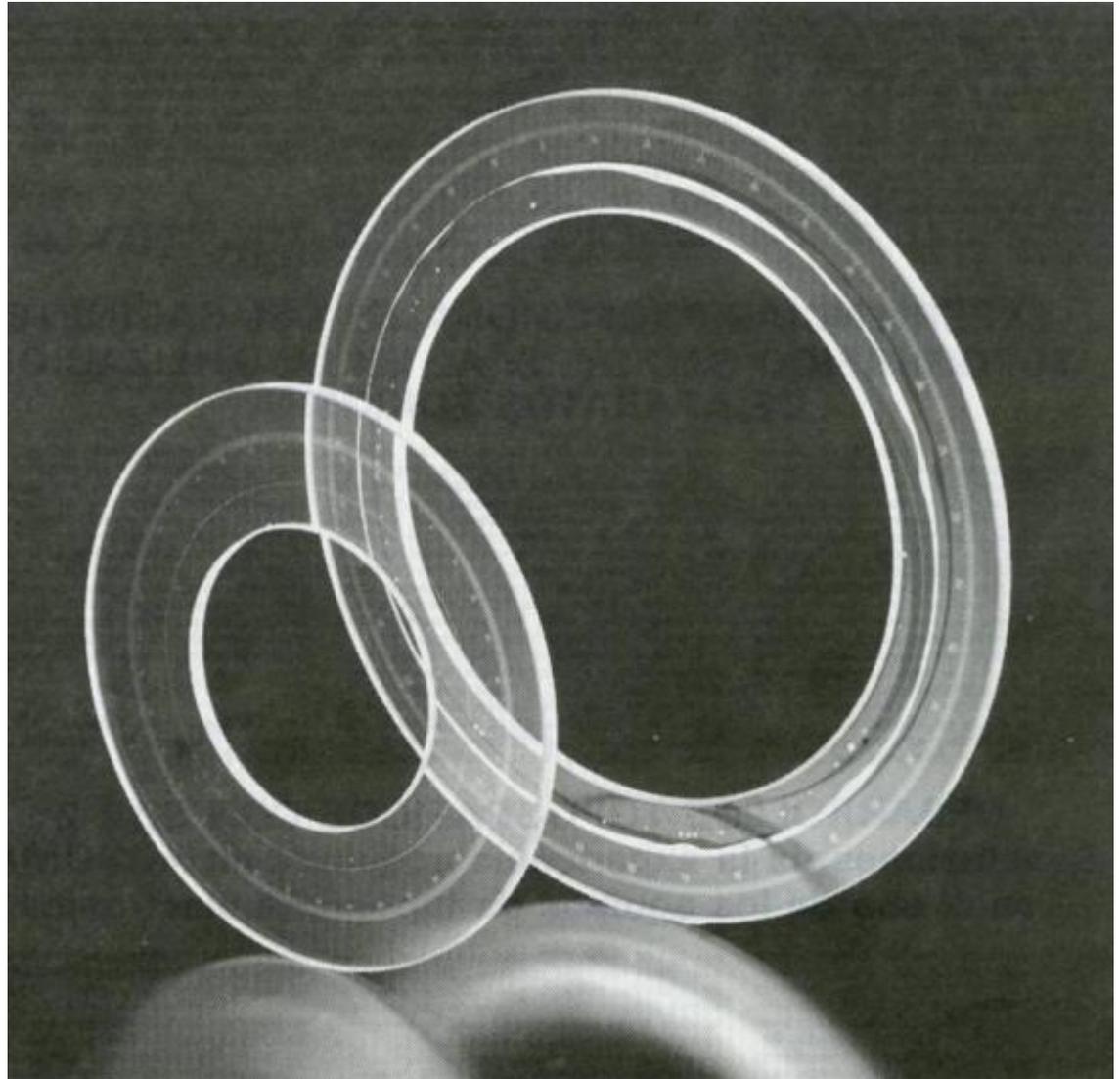
El más preciso fue el
WILD T4

Embalado (en dos
cajones) pesaba 110 kg



WILD T4

Ø de limbo = 240 mm
Precisión real 0,1" \approx 0,3^{cc}



LIMBOS analógicos de vidrio



WILD T3

Ø de limbo = 135 mm

Precisión real 0,7" \approx 2,0^{cc}

WILD T2

Ø de limbo = 90 mm

Precisión real 1" \approx 3,0^{cc}

(Ex æquo con el menos difundido
CARL ZEISS JENA THEO O10
y otros menos populares)

KERN DKM3

Ø de limbo = 100 mm

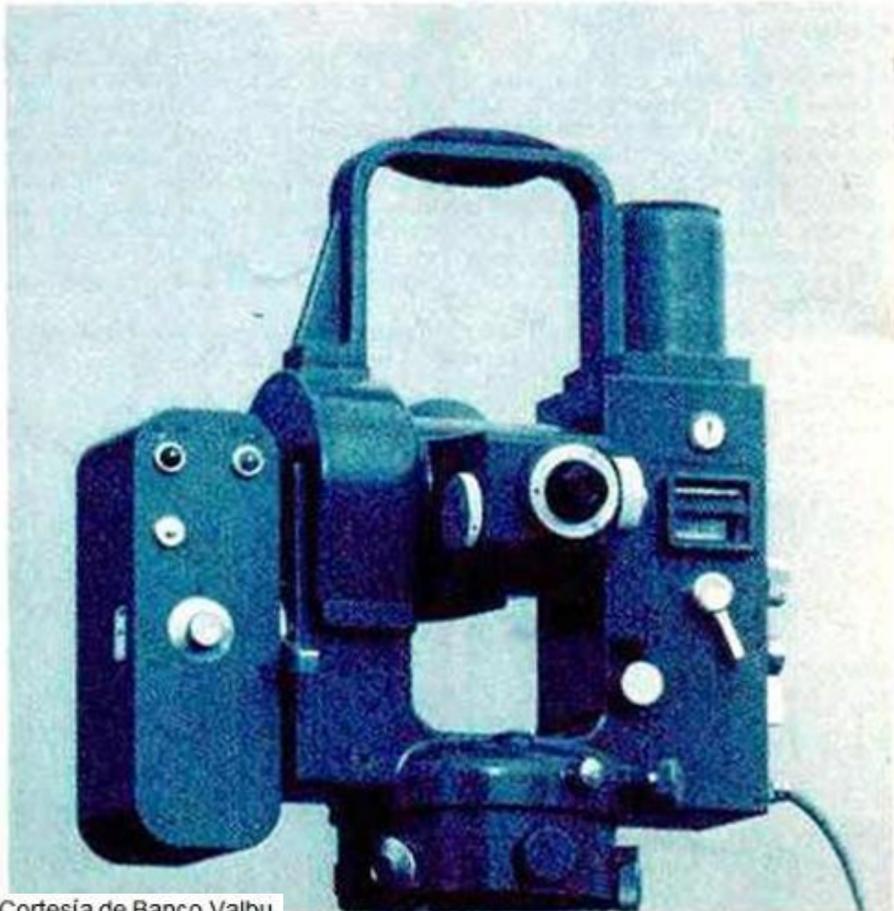
Precisión real 0,3" \approx 1^{cc}



TEODOLITOS DE REGISTRO FOTOGRÁFICO

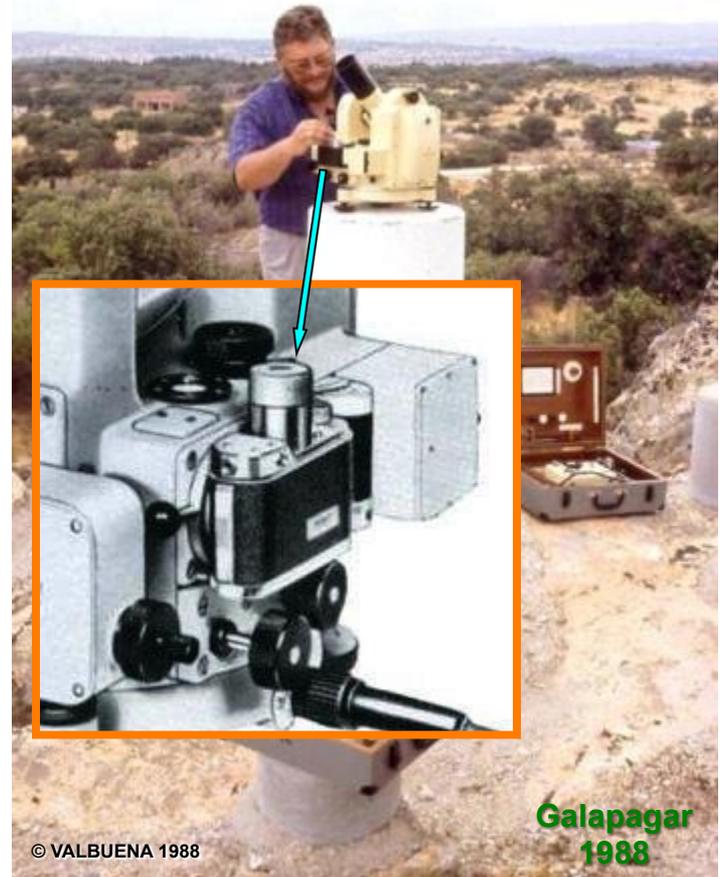
Los limbos analógicos exigían lectura subjetiva. La toma y posterior proceso de datos era manual. Hubo modelos de registro fotográfico.

Taquímetro
registrador



Cortesía de Banco Valbu

ASKANIA GIGAS



© VALBUENA 1988

Galapagar
1988

LIMBOS ELECTRÓNICOS

Los limbos electrónicos pueden asignar lecturas digitales a direcciones, o convertir giros físicos en valores digitales; todo ello disponible informáticamente.

Los precursores fueron discos de sectores conductores (como divisiones) con palpadores, a veces de oro. La lectura se hacía eléctricamente por contacto físico; rudimentario y de muy baja precisión, pero la lectura ya no era óptico-analógica.

Un sistema electrónico angular consta de un limbo codificado y de sensores. Los sensores se disponen habitualmente en parejas diametralmente opuestas para compensar errores residuales de excentricidad.

LIMBOS ELECTRÓNICOS

Pueden ser de vidrio, metal u otros materiales, y trabajar por transparencia o reflexión.

Alternadamente presentan zonas transparentes y opacas, o reflectantes y mates. Generan patrones analizables o permiten una codificación binaria 0-1.

Hay tres sistemas fundamentales: el absoluto, el incremental y el dinámico.

Los instrumentos actuales pueden usar combinaciones, como uno absoluto para medida aproximada y uno incremental para la fina.

El instrumento puede hacer para cada lectura las correcciones de los errores residuales del limbo cuyos valores tiene memorizados tras haber sido establecidos en laboratorio en el momento de su montaje.

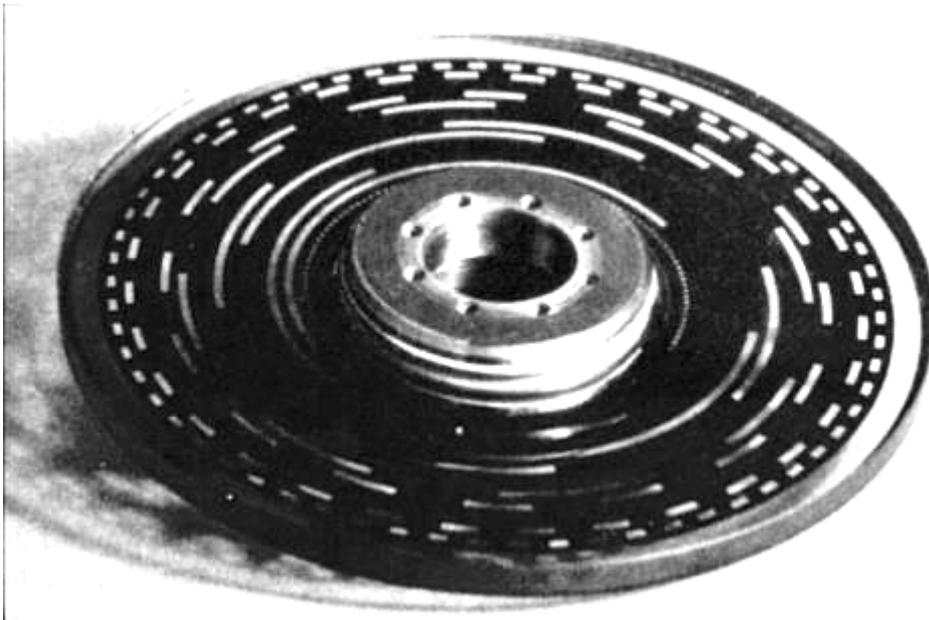
Sistema absoluto

LIMBOS ABSOLUTOS

Para una dirección ofrecen una lectura.

Hay dos codificaciones: binaria y de barras.

Codificación binaria



© VALBUENA 2004

Codificación de barras

LIMBOS DE CODIFICACIÓN BINARIA

Con código en base 2, el valor máximo leíble será 2^N , siendo N el número de pistas concéntricas.

Con 9 pistas → 512.

Con 12 pistas → 4096.
(apreciaría hasta 10°).

Con 14 pistas → 16384.
(apreciaría hasta $2,5^\circ$).

En un limbo de $\varnothing 100$ mm, 1 mgon (10^{cc}) ocuparía 780 nm, como la λ del infrarrojo.

Su precisión no puede superar $1' \approx 2^\circ$ (ocuparía $16 \mu\text{m}$ en el limbo).



LIMBOS DE CODIFICACIÓN BINARIA

ENCODERS ÓPTICOS

serie 30



- *Generador incremental para aplicaciones industriales extremas*
- *Ø 90 m/m, eje hasta 12 m/m*
- *Protección IP 65 según DIN 40050*
- *Salida cable o conector*
- *De 1 a 5000 impulsos por revolución*

**Pero para 1 mgon (10^{cc})
harían falta 400 000
impulsos por revolución.**

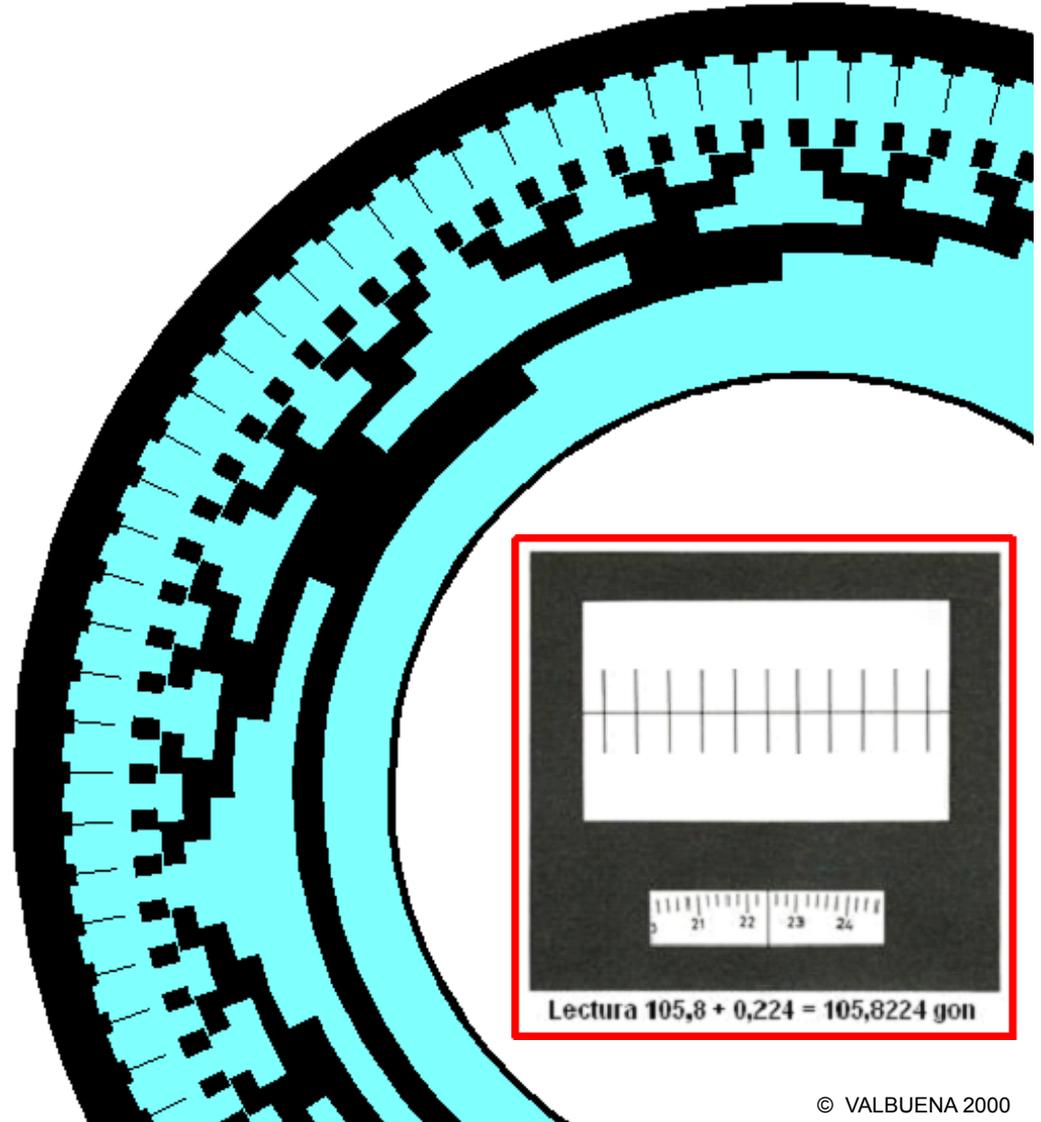
LIMBOS DE CODIFICACIÓN BINARIA

Codificación binaria

Añadiendo unos trazos radiales se puede hacer la lectura fina con coincidencia micrométrica:

- 1- Manual con lectura analógica en escala
- 2- Manual con lectura digital por encoder
- 3- Fotoeléctrica motorizada con lectura digital por encoder

Sólo el último sistema puede informatizarse.



Estaciones digitales con micrómetro automático

Lectura aproximada

Lectura micrómetro

Lectura aproximada

Lectura micrómetro



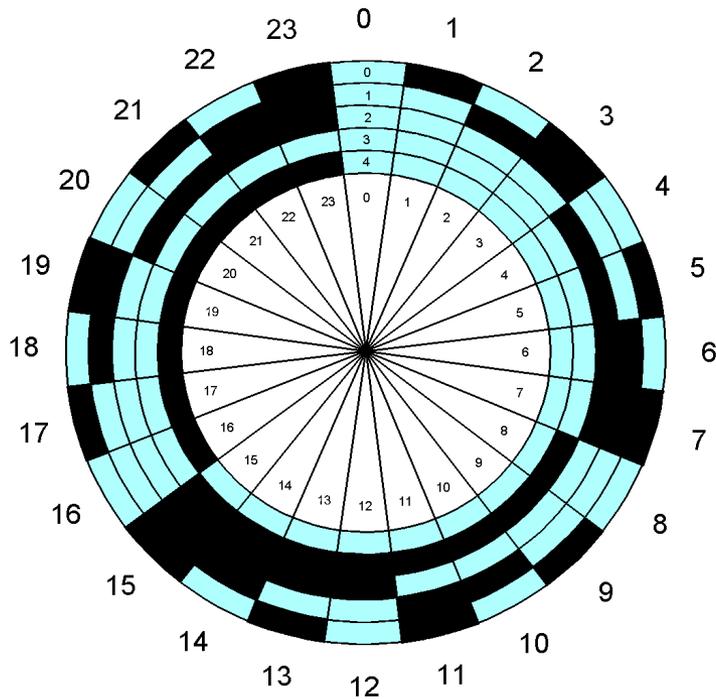
Reg Elta 14 de 1968

Elta 3 de 1981



CODIFICACIÓN binaria

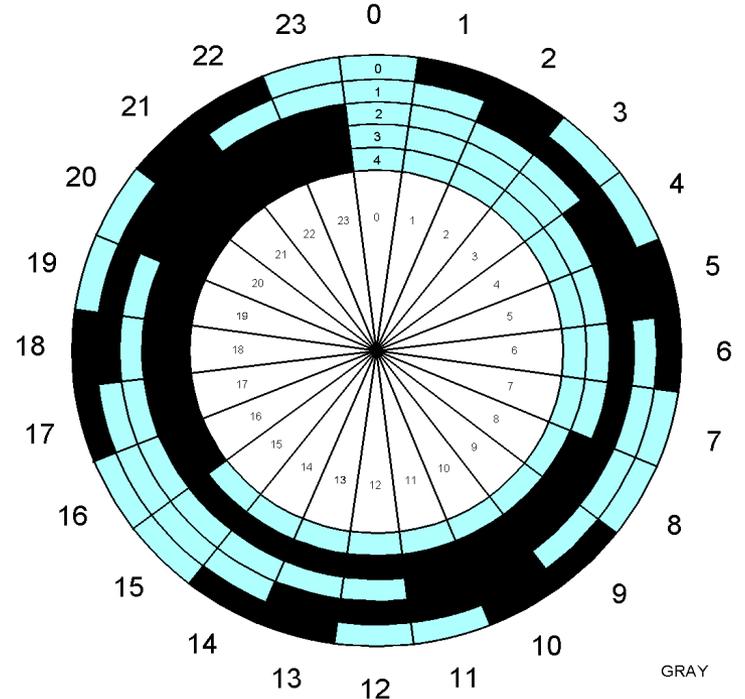
Decimal



© VALBUENA 2000

Posible gran error por fallo de una pista

Gray



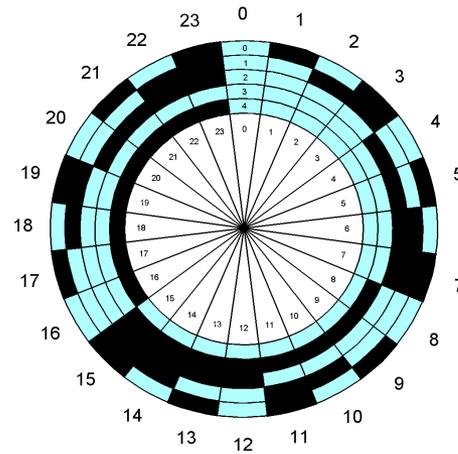
GRAY

© VALBUENA 2000

Mínimo error por fallo de una pista

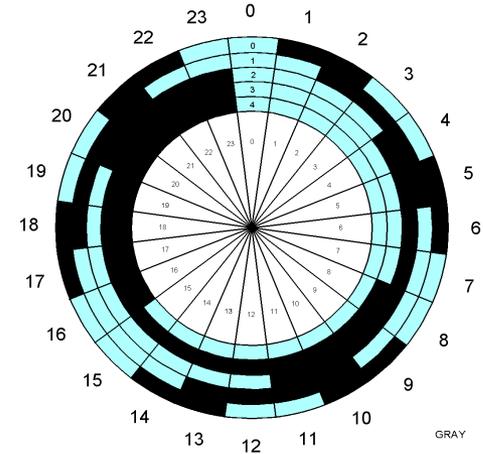
CODIFICACIÓN binaria

Decimal

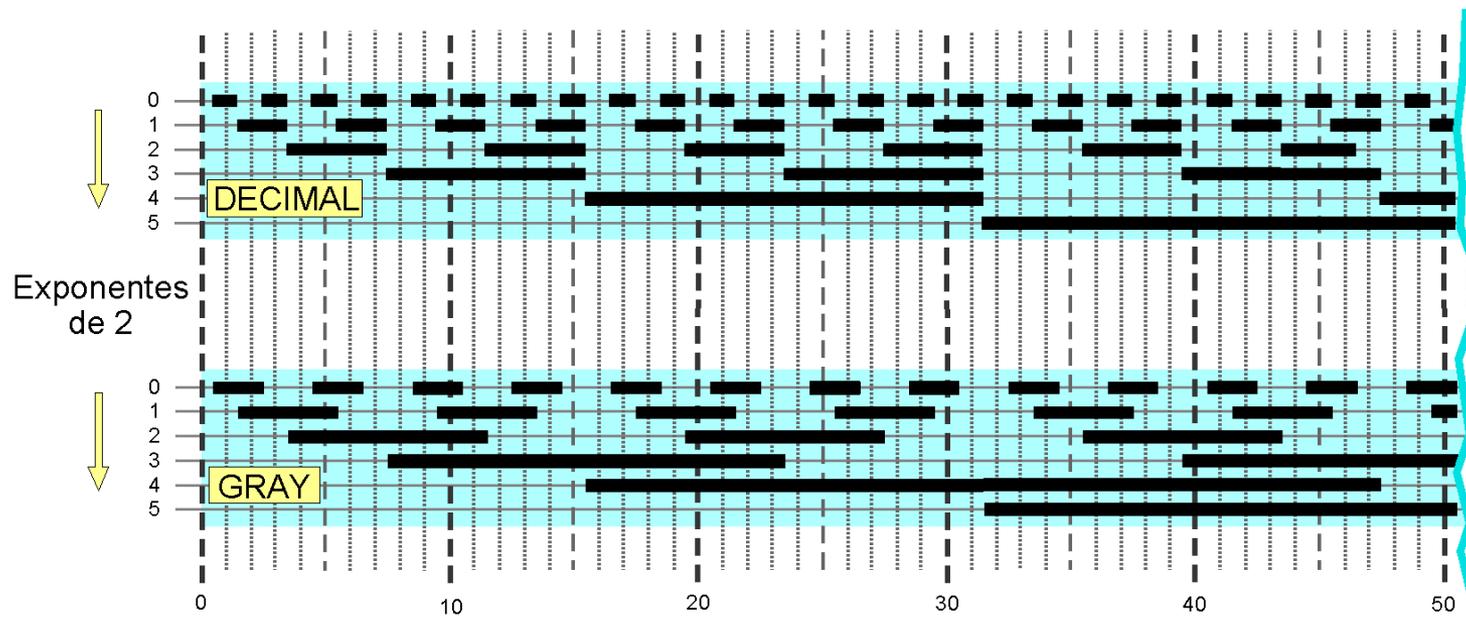


© JOSÉ LUIS VALBUENA, 2000

Gray



© JOSÉ LUIS VALBUENA, 2000



© VALBUENA 2000

COMPARACIÓN Decimal - GRAY

Primeros 50 números

Valor	Decimal	GRAY	Valor
00	000000	000000	0
01	000001	000001	1
02	000010	000011	3
03	000011	000010	2
04	000100	000110	6
05	000101	000111	7
06	000110	000101	5
07	000111	000100	4
08	001000	001100	12
09	001001	001101	13
10	001010	001111	15

Codigos correspondientes a los primeros 10 números en ambos sistemas

Valor	Decimal	GRAY	Valor
00	000000	000000	0
01	000001	000001	1
02	000010	000011	3
03	000011	000010	2
04	000100	000110	6
05	000101	000111	7
06	000110	000101	5
07	000111	000100	4
08	001000	001100	12
09	001001	001101	13
10	001010	001111	15
11	001011	001110	14
12	001100	001010	10
13	001101	001011	11
14	001110	001001	9
15	001111	001000	8
16	010000	011000	24
17	010001	011001	25
18	010010	011011	27
19	010011	011010	26
20	010100	011110	30
21	010101	011111	31
22	010110	011101	29
23	010111	011100	28
24	011000	010100	20
25	011001	010101	21
26	011010	010111	23
27	011011	010110	22
28	011100	010010	18
29	011101	010011	19
30	011110	010001	17
31	111111	010000	16
32	100000	110000	48
33	100001	110001	49
34	100010	110011	51
35	100011	110010	50
36	100100	110110	54
37	100101	110111	55
38	100110	110101	53
39	100111	110100	52
40	101000	111100	60
41	101001	111101	61
42	101010	111111	63
43	101011	111110	62
44	101100	111010	58
45	101101	111011	59
46	101110	111001	57
47	101111	111000	56
48	110000	100000	32
49	110001	100001	33
50	110010	100011	35

COMPARACIÓN Decimal - GRAY

Representación con
valores decimales
binarios en abscisas y
decimales Gray en
ordenadas

Valor	Decimal	GRAY	Valor
00	000000	000000	0
01	000001	000001	1
02	000010	000011	3
03	000011	000010	2
04	000100	000110	6
05	000101	000111	7
06	000110	000101	5
07	000111	000100	4
08	001000	001100	12
09	001001	001101	13
10	001010	001111	15



COMPARACIÓN Binario - GRAY

Representación con valores decimales binarios en abscisas y decimales Gray en ordenadas

Valor	Decimal	GRAY	Valor
00	000000	000000	0
01	000001	000001	1
02	000010	000011	3
03	000011	000010	2
04	000100	000110	6
05	000101	000111	7
06	000110	000101	5
07	000111	000100	4
08	001000	001100	12
09	001001	001101	13
10	001010	001111	15

La gráfica es repetitiva y creciente, a modo de un fractal



serie cm 30



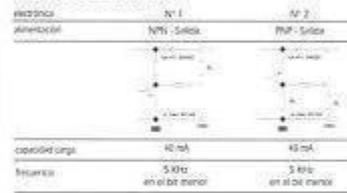
- **Generador de valor absoluto multivuelta de uso industrial**
- **Código de salida binario o gray**
- **Resolución hasta 12 bit. (4096 puntos rev.) x 2048 vueltas**
- **Ø 90 m/m, eje de 6 a 12 m/m**
- **Protección IP 65 según DIN 40050**
- **Salida cable o conector industrial**

CARACTERÍSTICAS ELECTRICAS

Fuente de luz: GaAsAl DIODO
 Elementos de exploración: OPTO SCHMITT
 Electrónica de conformación de impulsos: En el generador
 Tensión de alimentación: Electrónica N°1 o N°2
 Capacidad de carga: Electrónica N°1 o N°2
 Frecuencia de exploración: Electrónica N°1 o N°2
 Ondulación máxima: 300 mVds
 Tensión de prueba entre conductores: 2000 VEF
 Test de prueba antes de la entrega: 48 Horas
 Sistema de conexión: Cable o Conector
 N° máximo de impulsos por revolución: 4096
 Códigos disponibles: Gray o Binario

En el generador
 Electrónica N°1 o N°2
 Electrónica N°1 o N°2
 Cable o Conector
 Gray o Binario

CIRCUITOS DE SALIDA

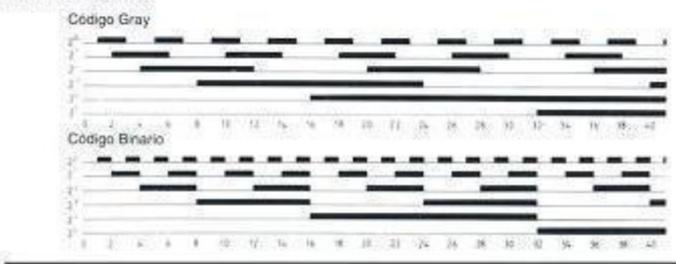


N° DE IMPULSOS DISPONIBLES

8	16	64	256	1024	4096
8	32	128	512	2048	

Con las dos codificaciones

SENALES DE SALIDA

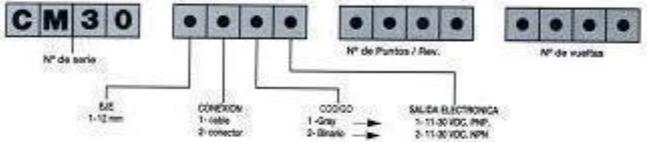


CARACTERÍSTICAS MECANICAS

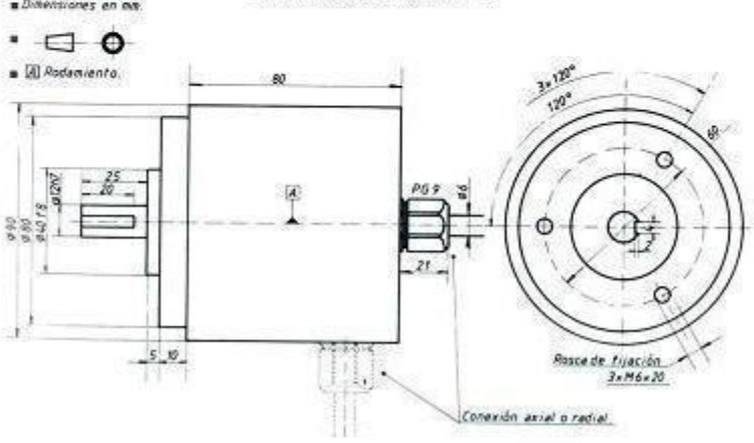
Cuerpo: Aluminio templado
 Carcasa: Zamac
 Eje: Acero inoxidable
 Rodamientos: De bolas
 Número máximo de revoluciones permisible mecánicamente: 6000 rpm sin retén
 Aceleración máxima permisible: 1,5 x 10⁵ rad/s²
 Momento de inercia del rotor: 30 gcm²
 Par de arranque a 20° (58° F.): 0,5 Ncm sin retén
 2,0 Ncm con retén
 Carga permisible sobre el eje axial: 15 N
 Carga permisible en el eje radial: 20 N

Protección contra el polvo y salpicaduras según DIN 40050
 Peso: IP 65 con retén
 IP 55 sin retén
 Gama de temperatura de funcionamiento: 0,5 kg aprox.
 Gama de temperatura de almacenamiento: -20°C a +60°C
 Gamas de temperatura mayores: -20°C a +70°C
 Sobre pedido
 Vibración: 100 m/s² (de 10 a 2000 Hz)
 Impacto: 300 m/s² (6 ms)
 Humedad relativa: Hasta 98%

REFERENCIA



DIMENSIONES MECANICAS



Sistema de código de barras

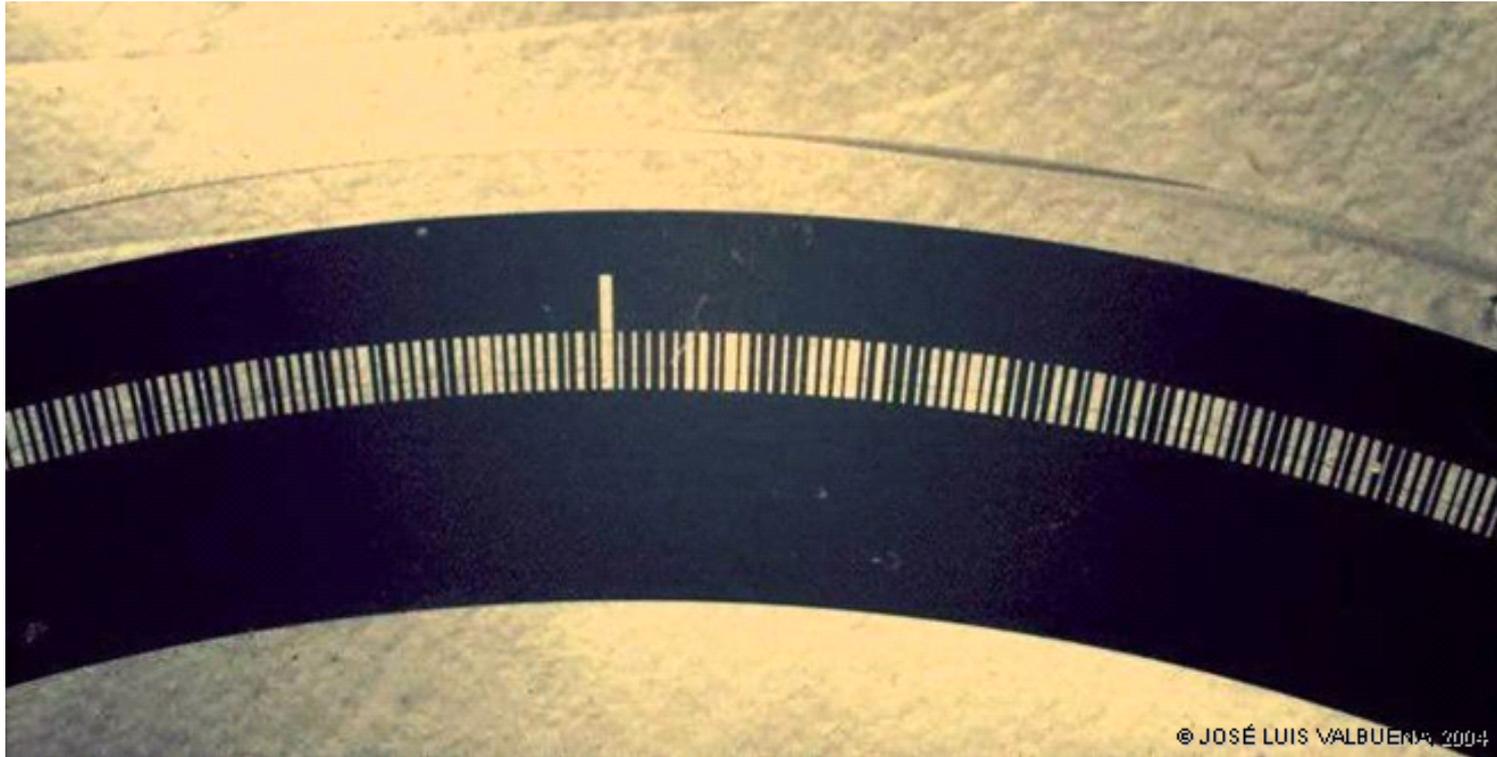
CÓDIGO DE BARRAS

**El teodolito electrónico
WILD T1000 (1985) fue el
primero en comercializar
este sistema**

**Su desviación estándar en
lectura angular era de 10^{cc}.**



CÓDIGO DE BARRAS



El análisis no es puntual, sino un escaneo realizado en amplios tramos que comprenden, al menos, 256 puntos del código de barras. Ofrece alta resolución y precisión estadística de la lectura.

Los sistemas de código de barras son funcionalmente equivalentes a los utilizados por los niveles electrónicos, ya presentados.

Sistema incremental

MUARÉ

**Cuando se hace un giro,
se mide y se actualiza la
lectura anterior.**

**Los teodolitos electrónicos
KERN E1 (1981) y E2 (1983)
fueron los primeros en
desarrollar este sistema**

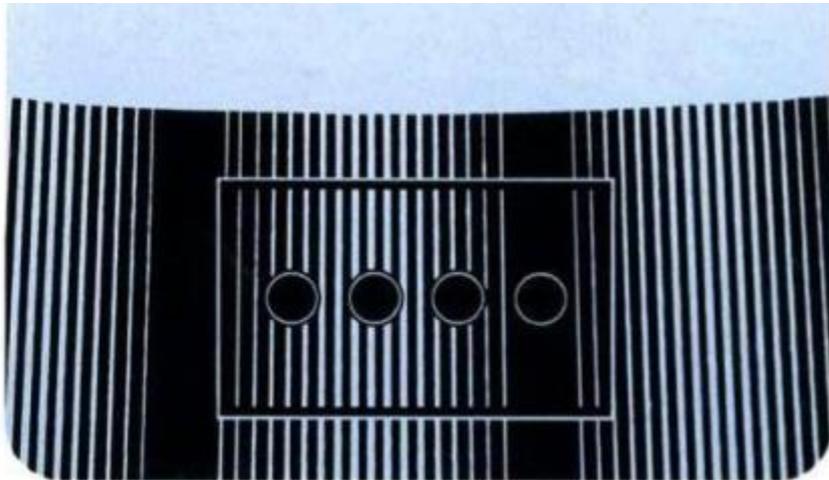
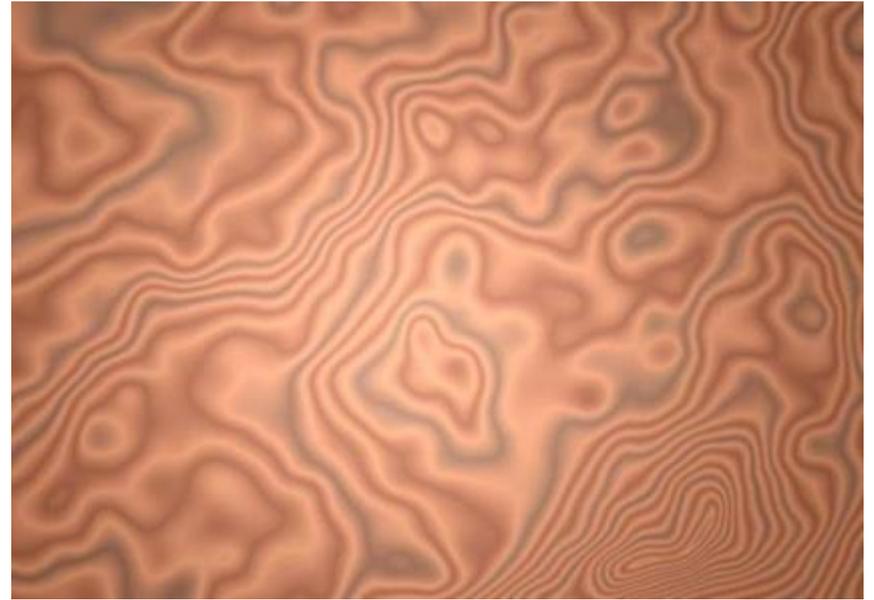
**Sus desviaciones estándar
nominales eran de 6^{cc} (E1)
y de 1,5^{cc} (E2).**



MUARÉ

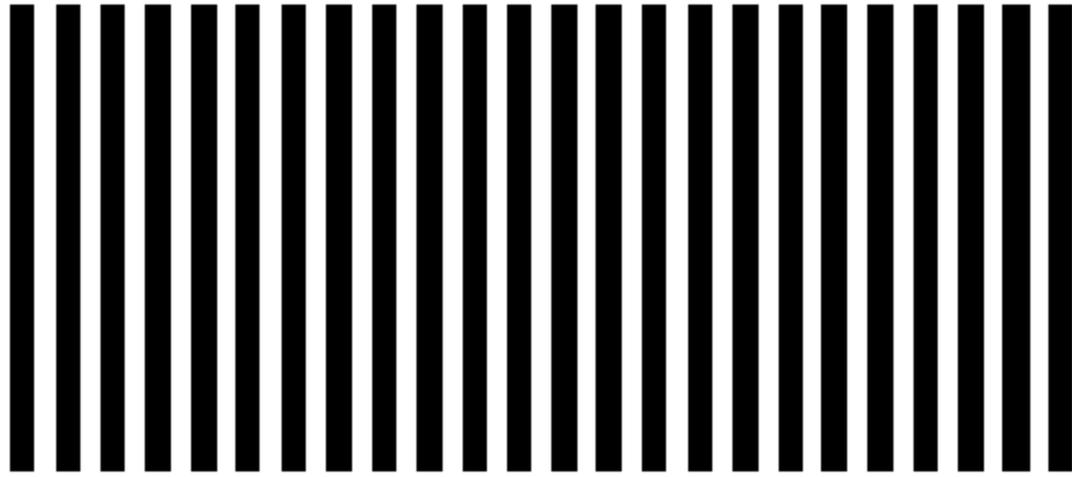
“Muaré” está aceptado por la RAE como el nombre de cierta tela que se ve con “aguas” o “fluctuaciones”

Al superponer las imágenes de dos grupos de líneas se genera un patrón óptico muaré

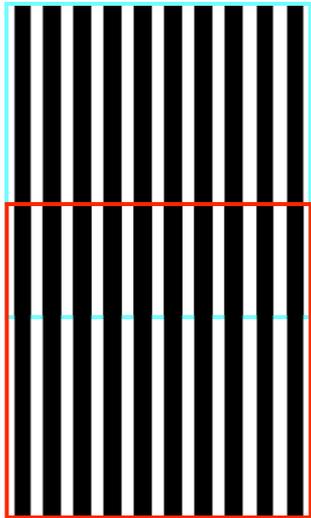


Es el causante de las vistosas ondulaciones que se forman en una pantalla de TV cuando aparece una persona vestida con tejido de rayas finas.

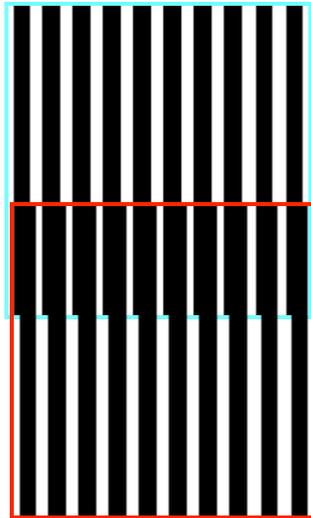
MUARÉ



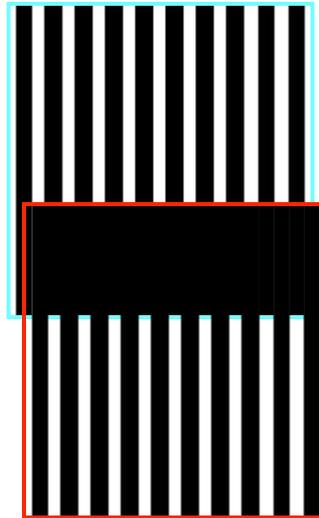
Conjuntos con pasos iguales



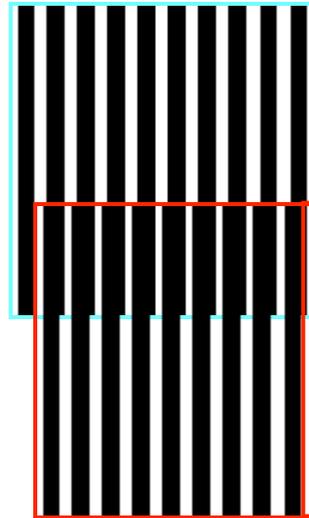
1



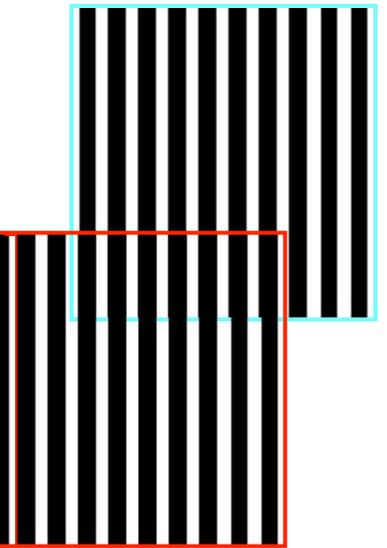
2



3



4



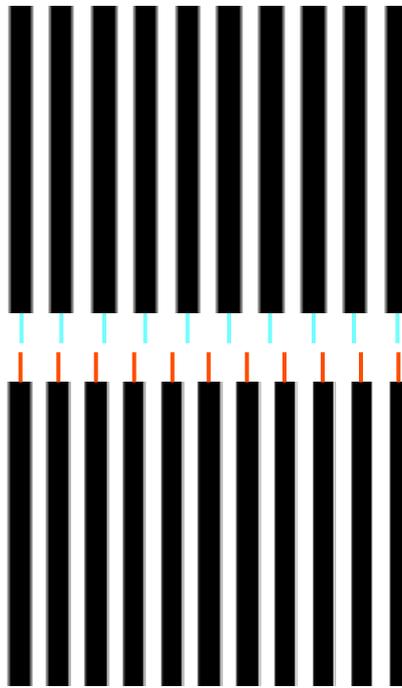
B

A

MUARÉ longitudinal

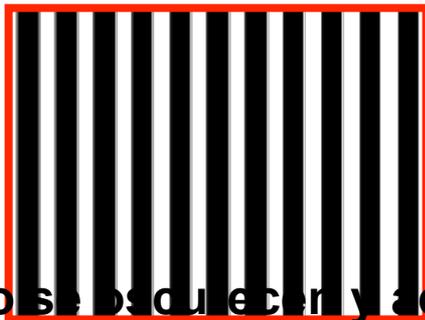
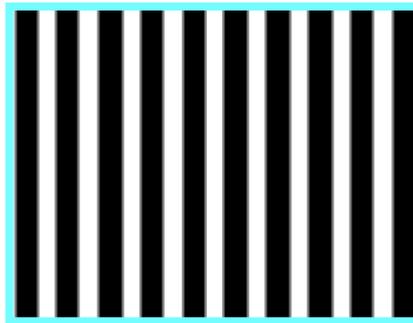
Conjuntos con
pasos diferentes

10
11



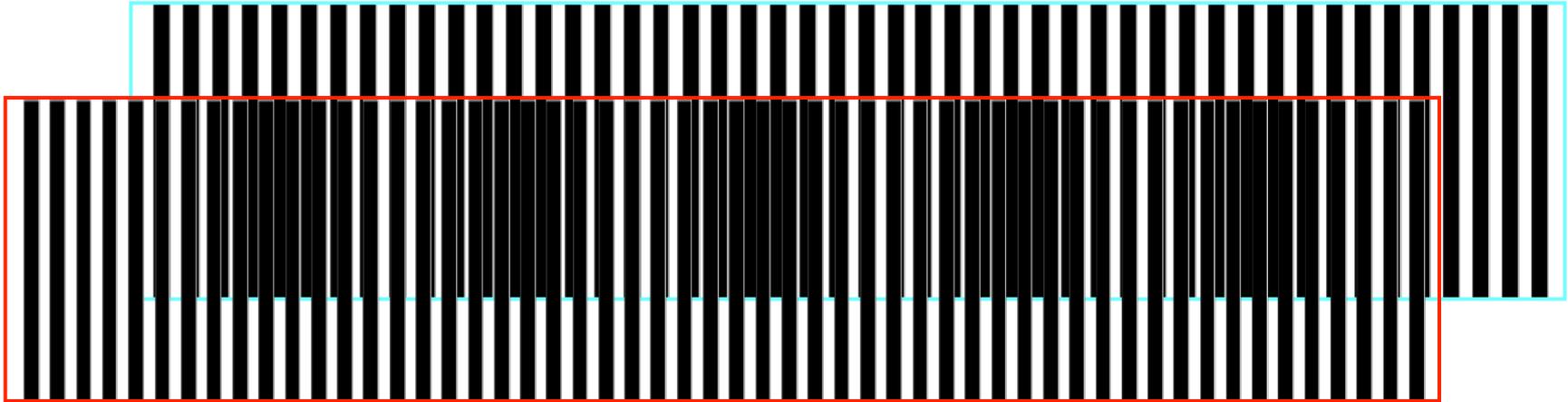
10 el conjunto **A** y
11 el conjunto **B**

A



Ya no se oscurecen y aclaran
TODOS simultáneamente
B

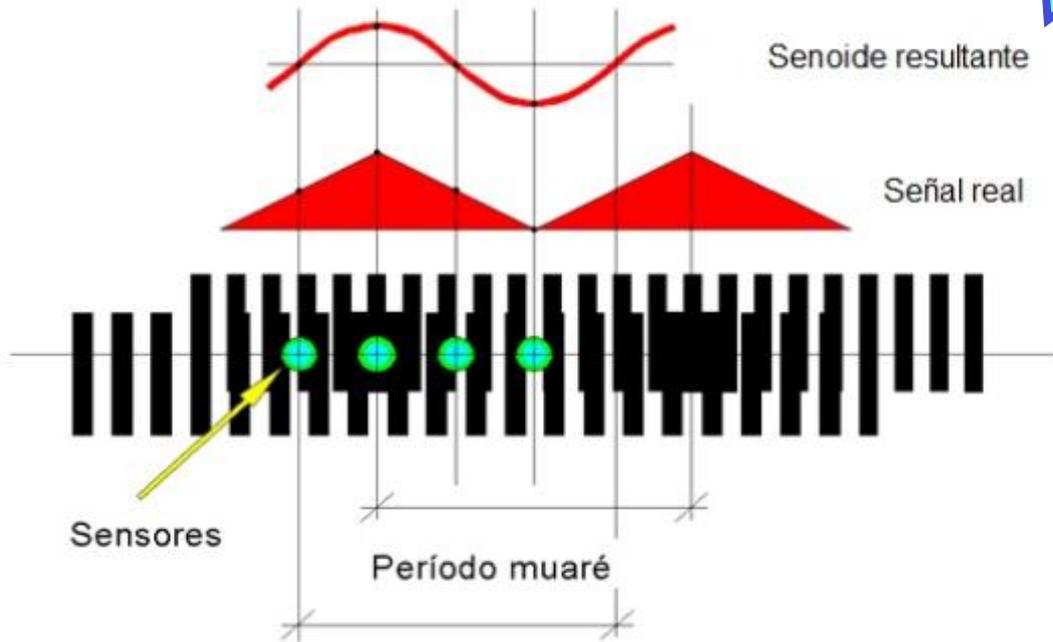
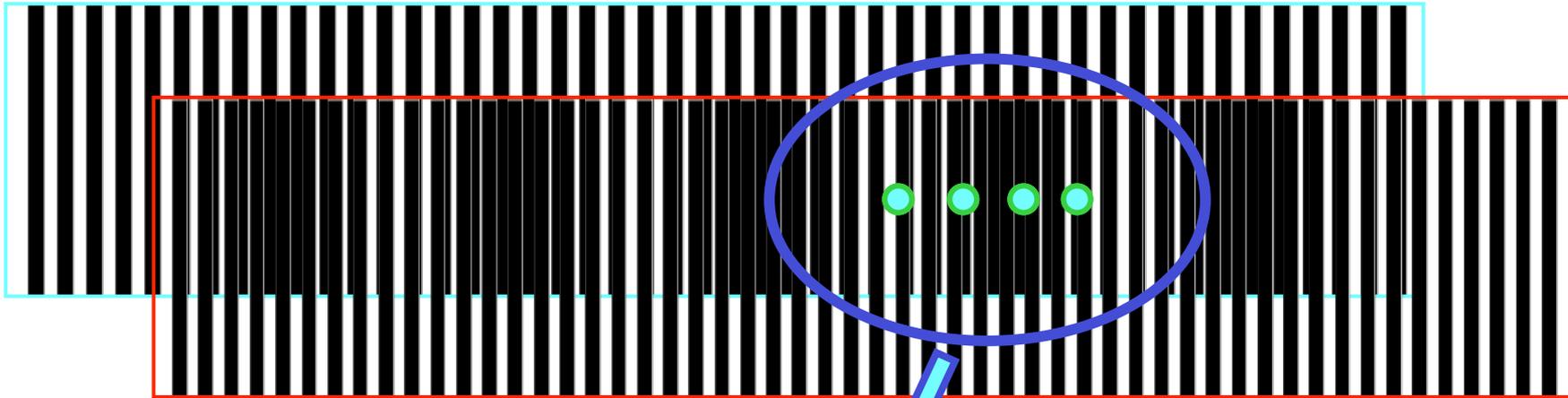
MUARÉ longitudinal



**Es un auténtico multiplicador
óptico de movimiento.**

**Un pequeño movimiento físico
provoca un gran movimiento del
patrón óptico.**

MUARÉ longitudinal



Hay 4 fotodetectores

Cada fotodetector genera una señal

MUARÉ lectura del limbo

Siendo A la amplitud leída,

y φ la fase,
dentro del período muaré:

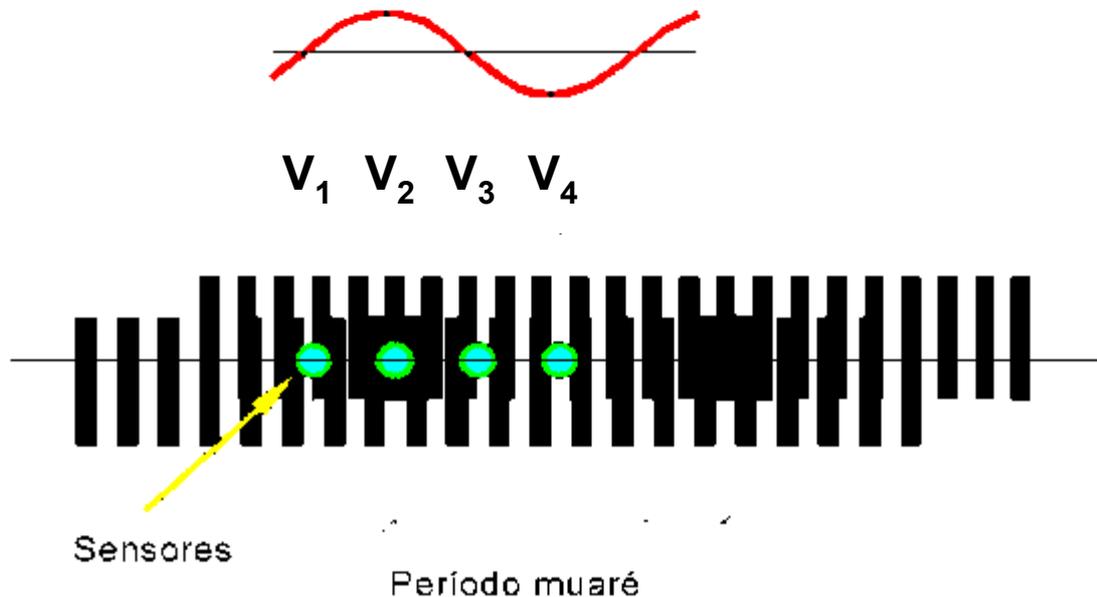
La lectura de cada fotodetector será:

$$V_1 = A \operatorname{sen} \varphi$$

$$V_2 = A \operatorname{sen} (\varphi + 90^\circ) = A \operatorname{cos} \varphi$$

$$V_3 = A \operatorname{sen} (\varphi + 180^\circ) = -A \operatorname{sen} \varphi$$

$$V_4 = A \operatorname{sen} (\varphi + 270^\circ) = -A \operatorname{cos} \varphi$$



Los fotodetectores
están decalados
 $90^\circ = \pi/2$

MUARÉ lectura del limbo

$$V_1 = A \operatorname{sen} \varphi$$

$$V_2 = A \operatorname{sen} (\varphi + 90^\circ) = A \operatorname{cos} \varphi$$

$$V_3 = A \operatorname{sen} (\varphi + 180^\circ) = -A \operatorname{sen} \varphi$$

$$V_4 = A \operatorname{sen} (\varphi + 270^\circ) = -A \operatorname{cos} \varphi$$

Restando los impares... $V_1 - V_3 = 2A \operatorname{sen} \varphi$

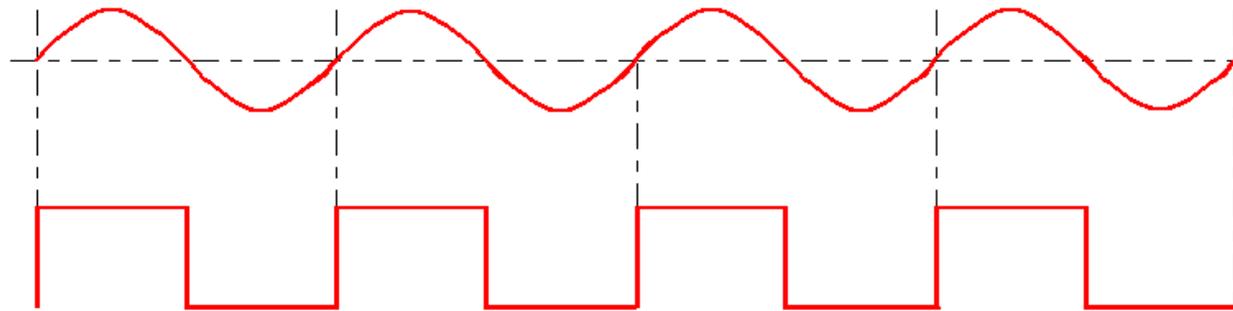
Restando los pares... $V_2 - V_4 = 2A \operatorname{cos} \varphi$

y dividiéndolos:

$$(V_1 - V_3) / (V_2 - V_4) = \operatorname{tg} \varphi$$

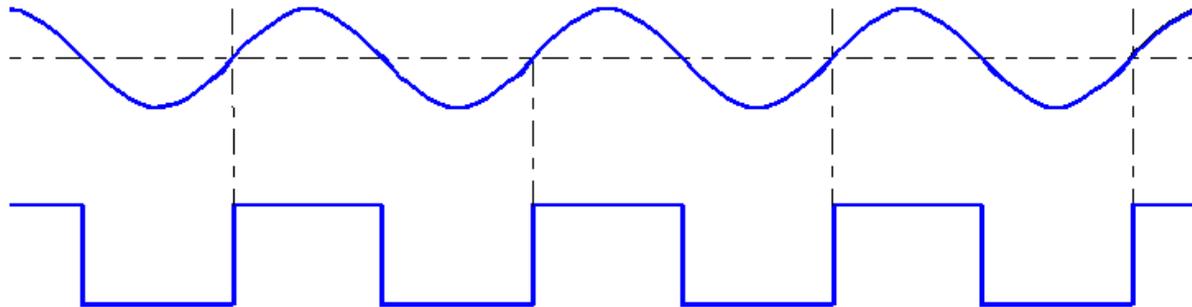
Se dispone de las señales sen φ , coseno φ y tangente φ .

MUARÉ detección sentido de giro



Señal seno

Almena equivalente



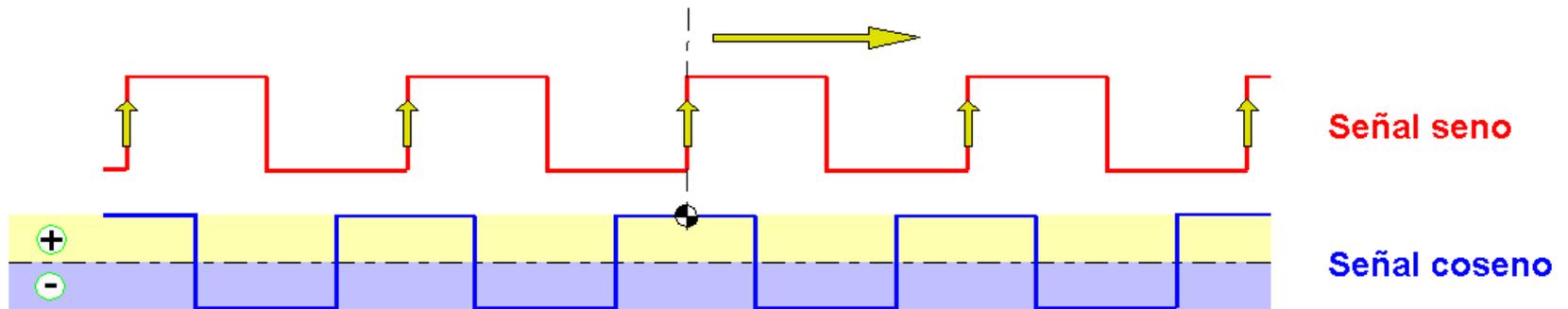
Señal coseno

Almena equivalente

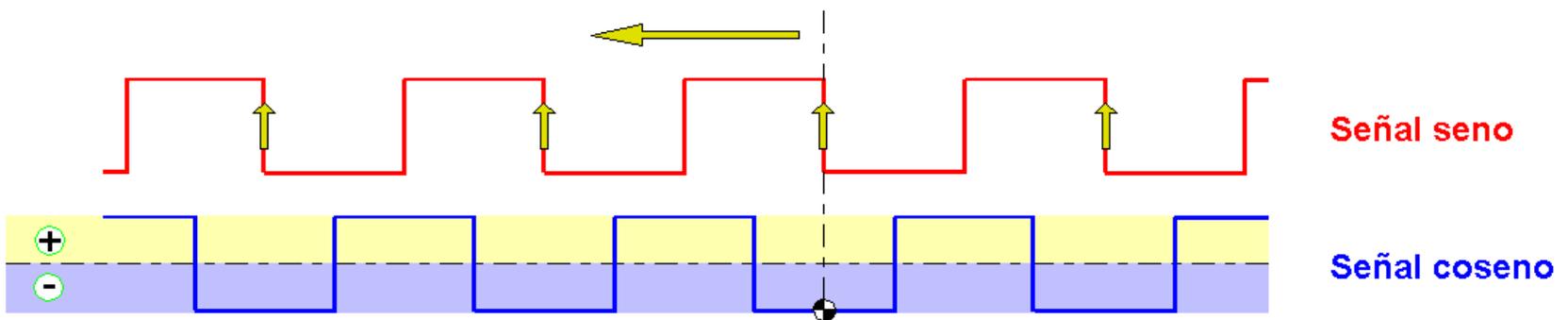
MUARÉ detección sentido de giro

Se define flanco de recuento como el momento en el que la señal seno pasa de negativa a positiva o viceversa

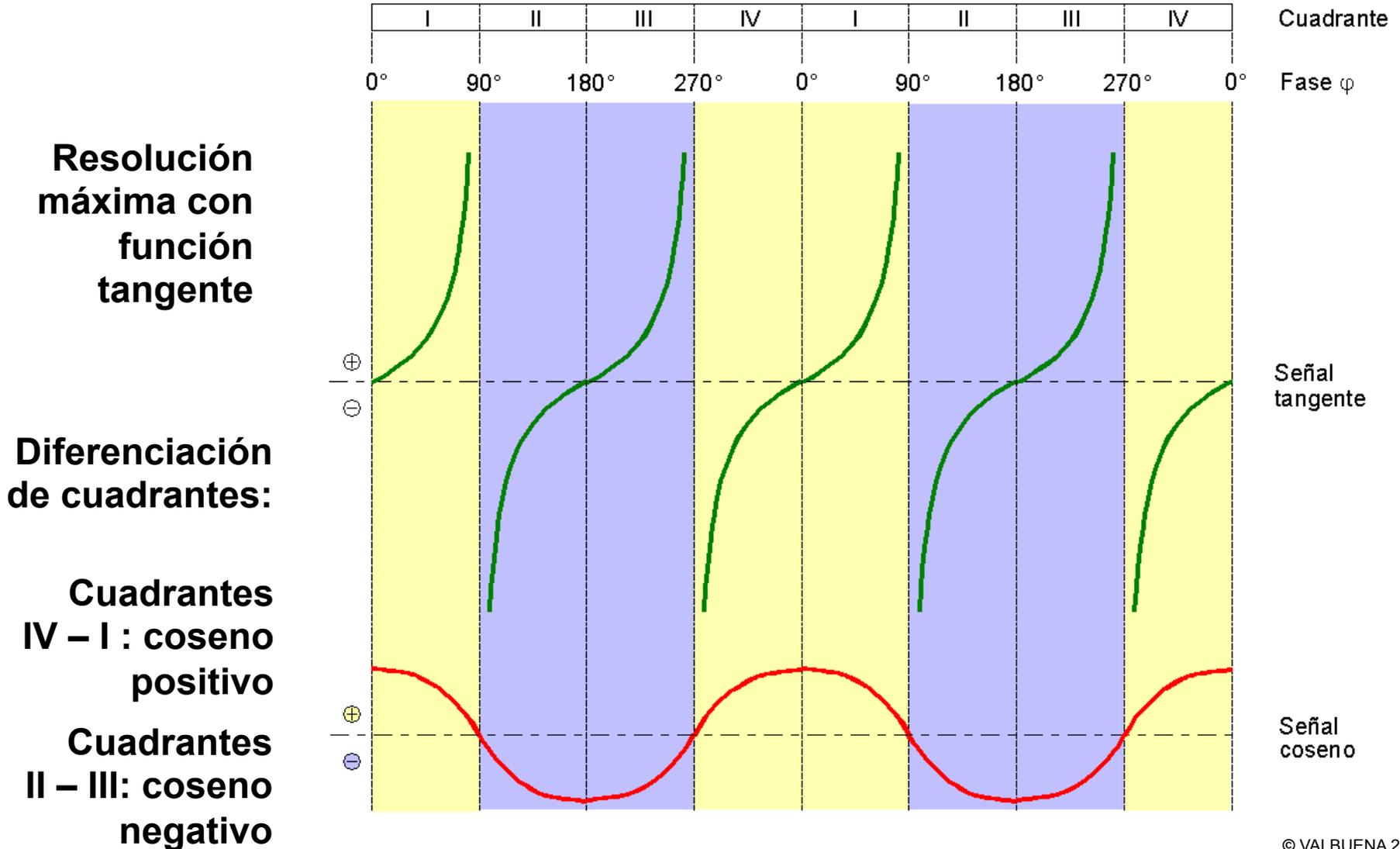
Flanco de recuento con coseno positivo. Giro a derechas



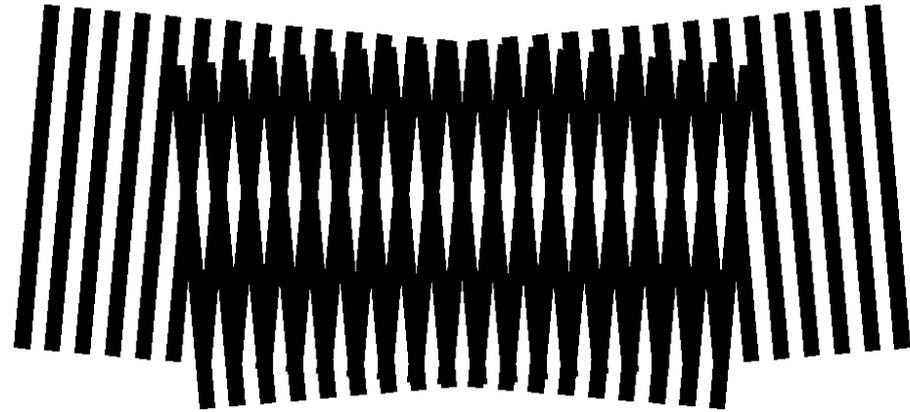
Flanco de recuento con coseno negativo. Giro a izquierdas



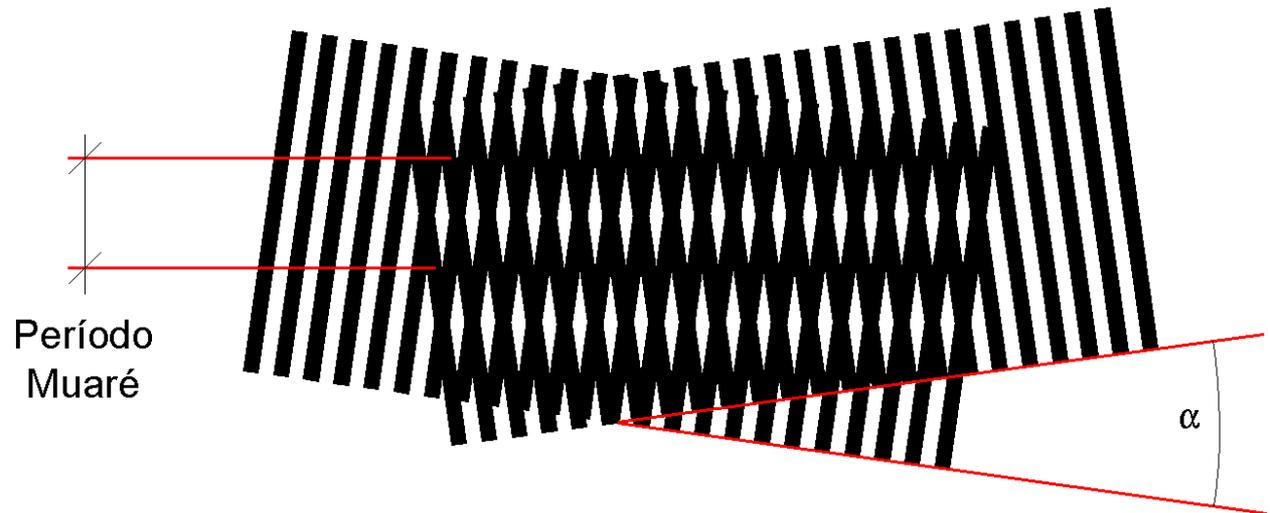
MUARÉ lectura



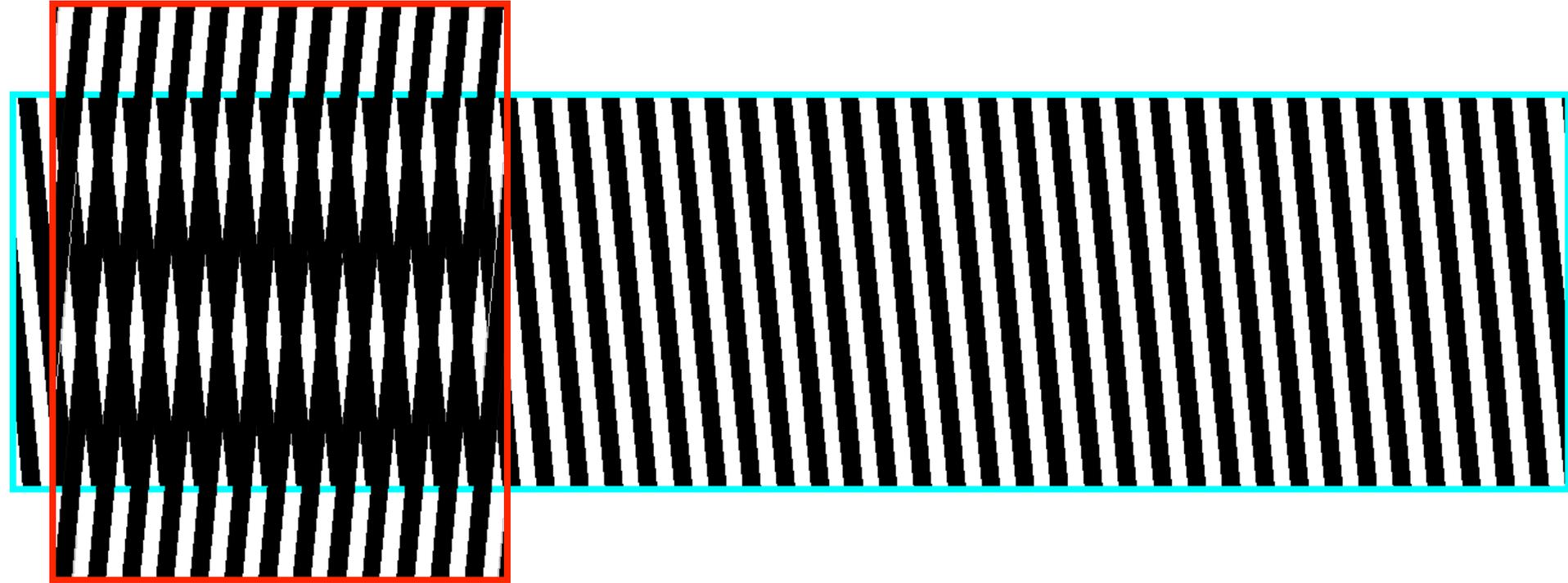
MUARÉ transversal



Período
 f (α y paso)

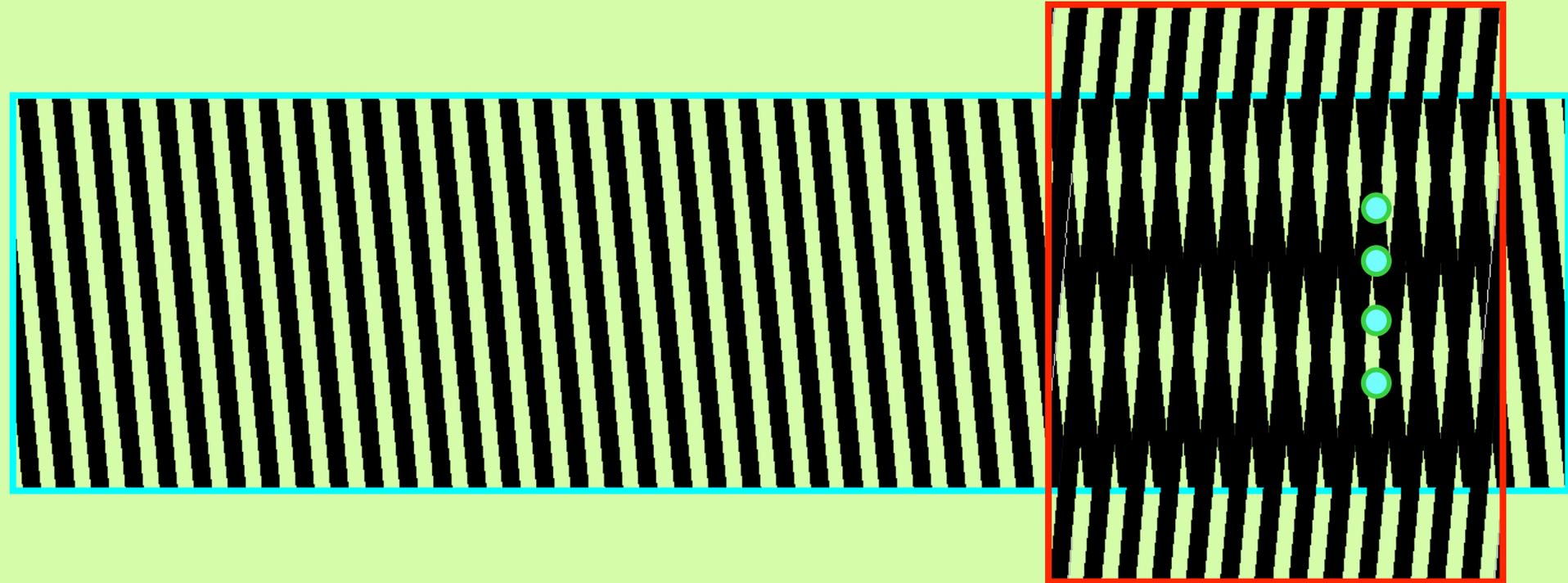


MUARÉ transversal



El desplazamiento Muaré es perpendicular al movimiento

MUARÉ transversal



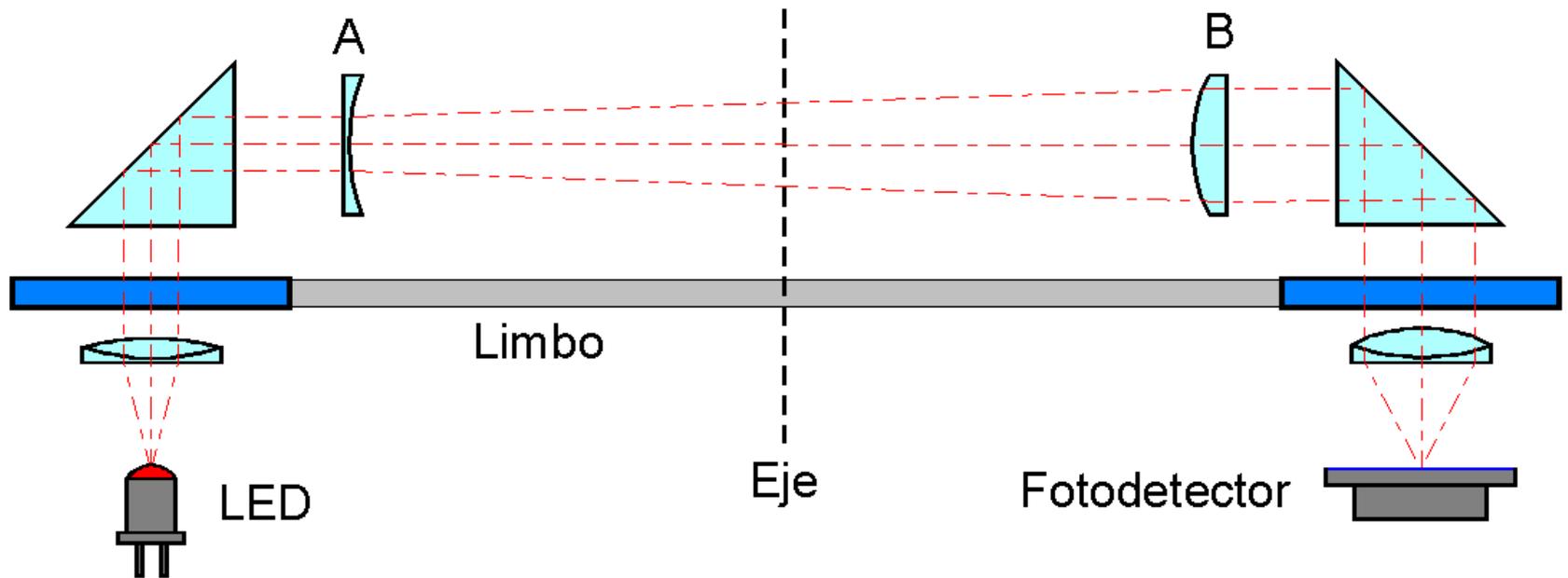
El desplazamiento Muaré es perpendicular al movimiento

Los sensores se colocan transversales

Este sistema es el utilizado en los codificadores lineales.

MUARÉ en limbo

Sistema del KERN E1 y E2

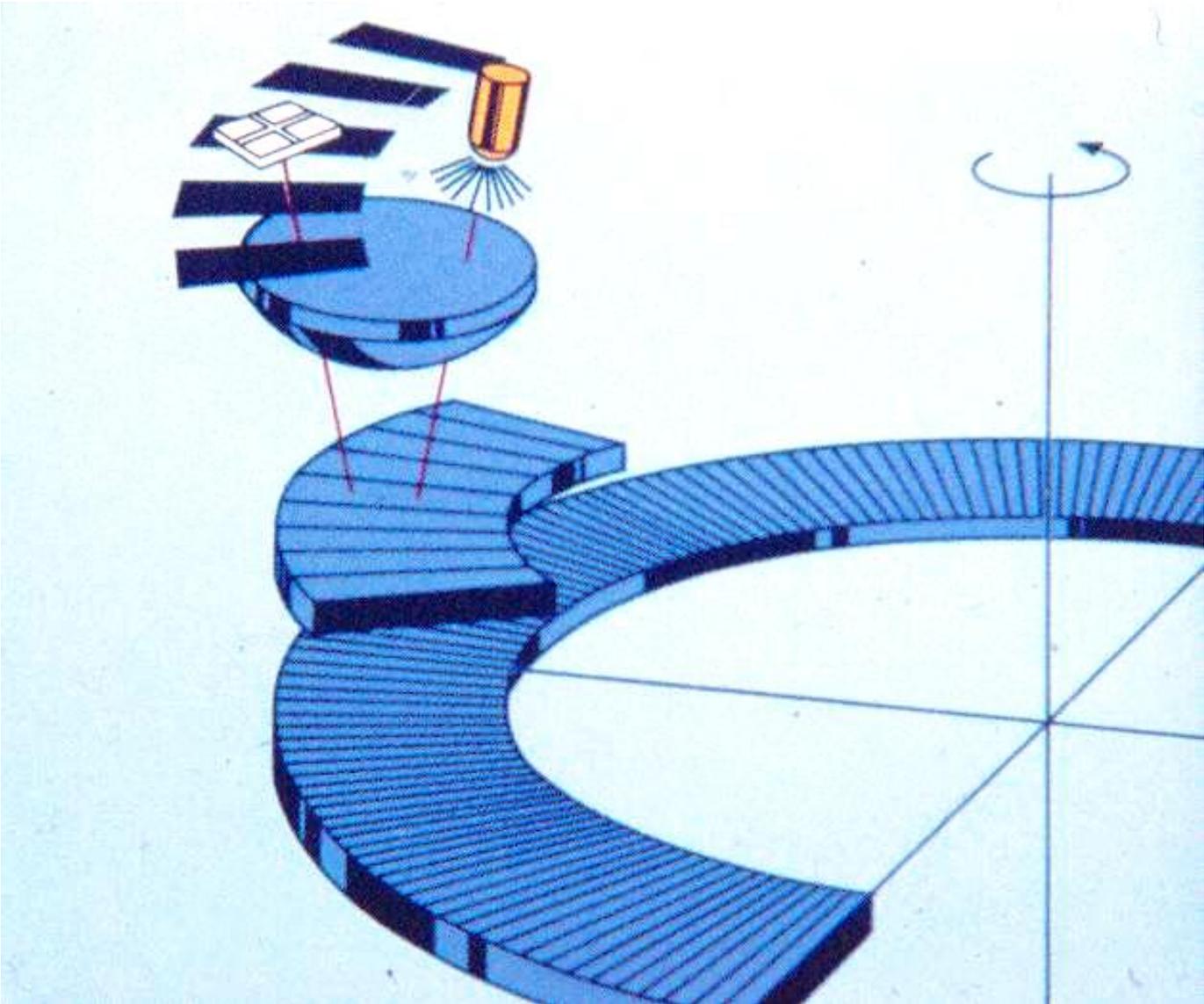


© Valbuena 1999

Lectura en lados opuestos del limbo

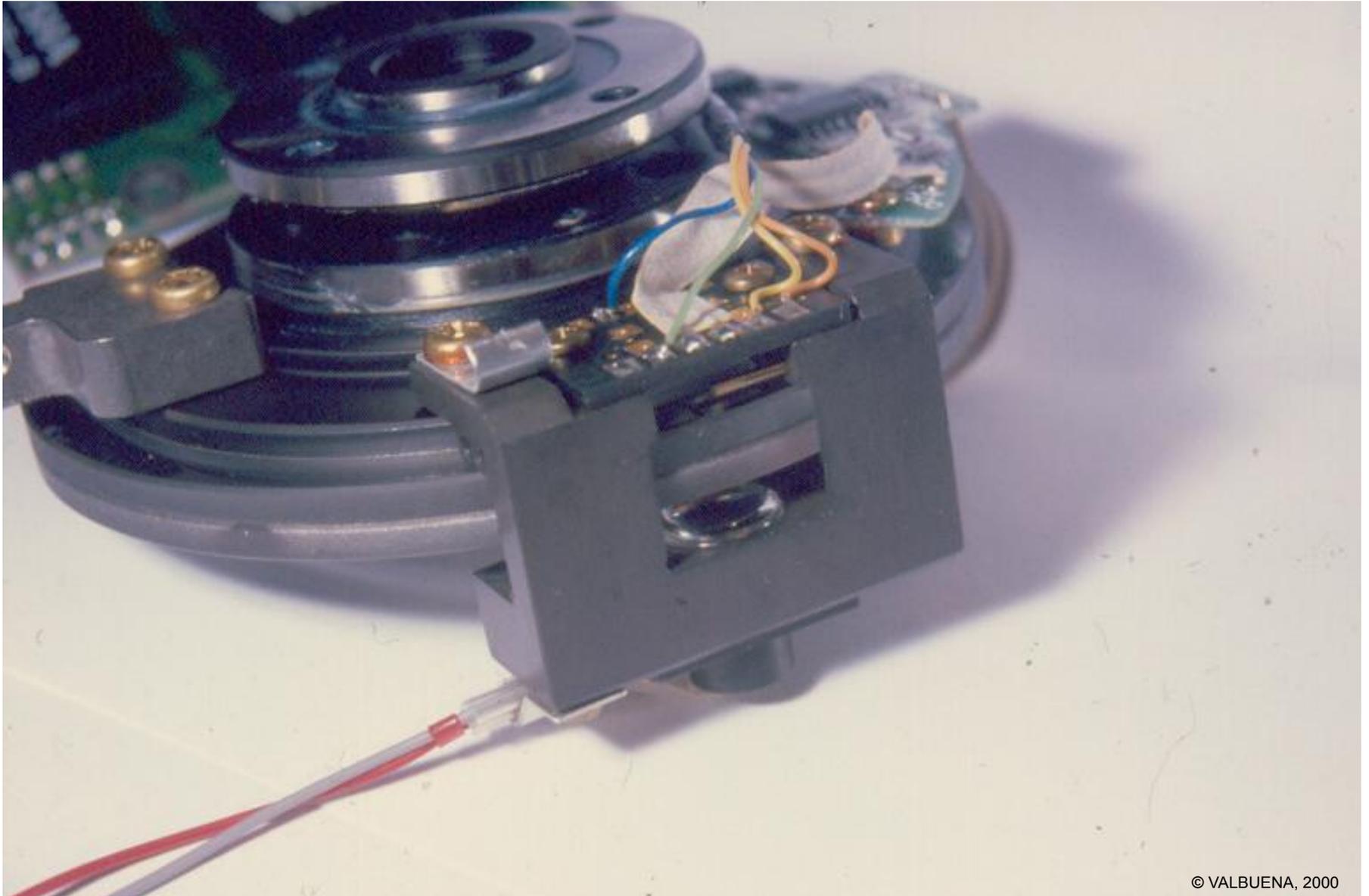
MUARÉ en limbo

Limbo SOKKIA



MUARÉ

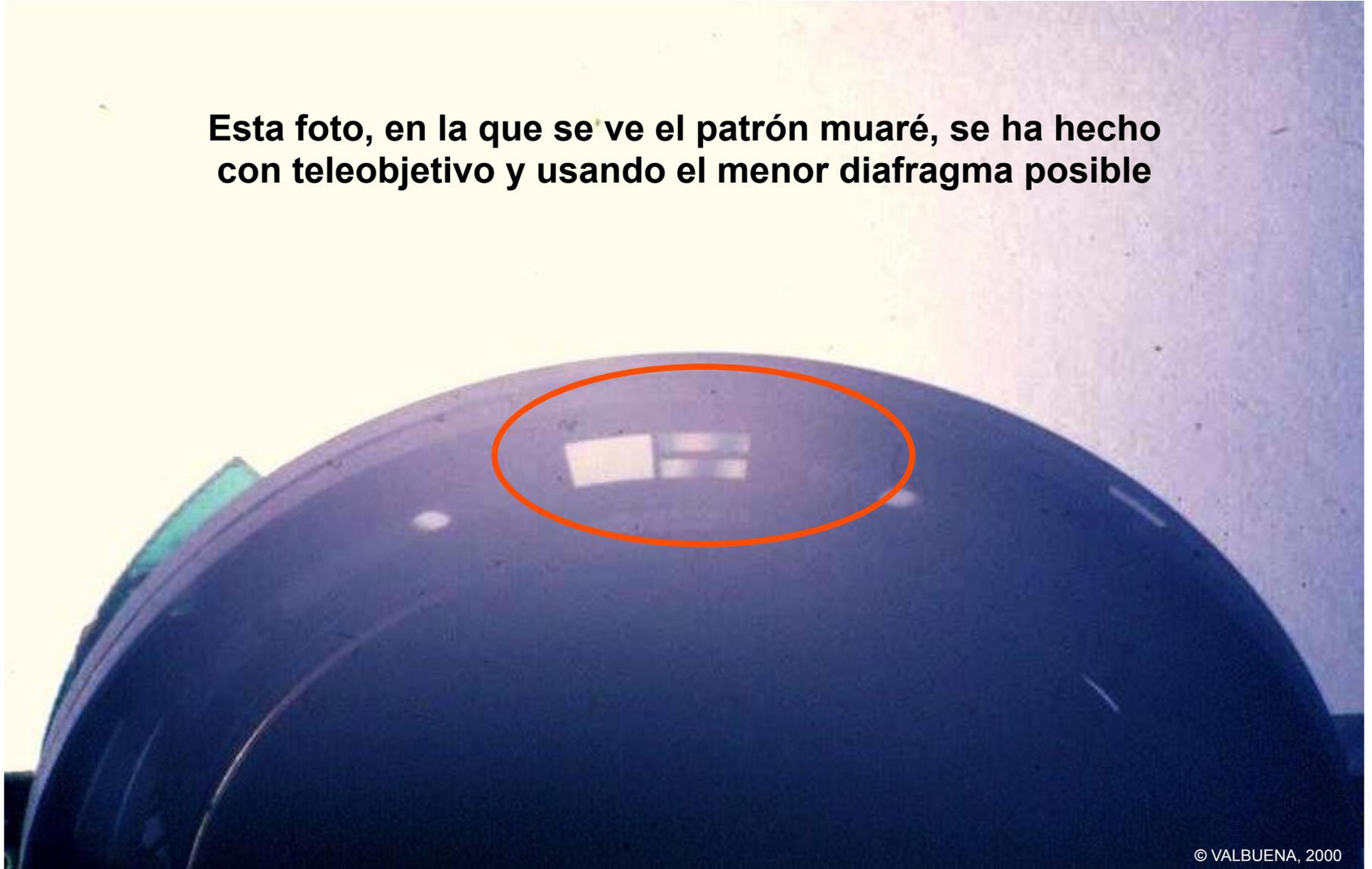
Limbo SOKKIA



MUARÉ

Limbo SOKKIA

Esta foto, en la que se ve el patrón muaré, se ha hecho con teleobjetivo y usando el menor diafragma posible



Sistema dinámico

LIMBO DINÁMICO

El teodolito electrónico WILD T2000 (1983) fue el primero en emplear este sistema

Su desviación estándar nominal era de $1,5^{\text{cc}}$.

Sus limbos no tienen codificación, luego no son absolutos.

No van actualizando la lectura según se gira, luego no son incrementales.

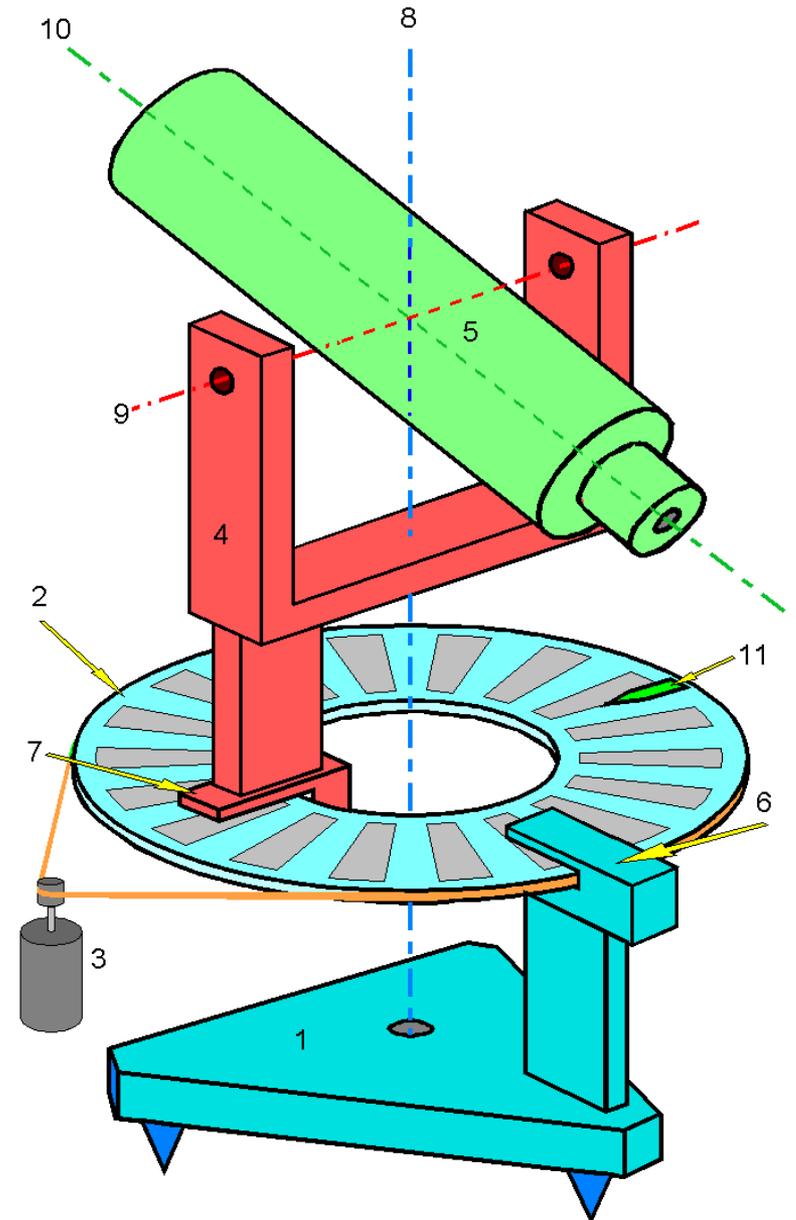
Hacen una lectura aislada al provocar una rotación motorizada del limbo. El valor fino de la lectura se establece por medida iterativa de incremento de fase.



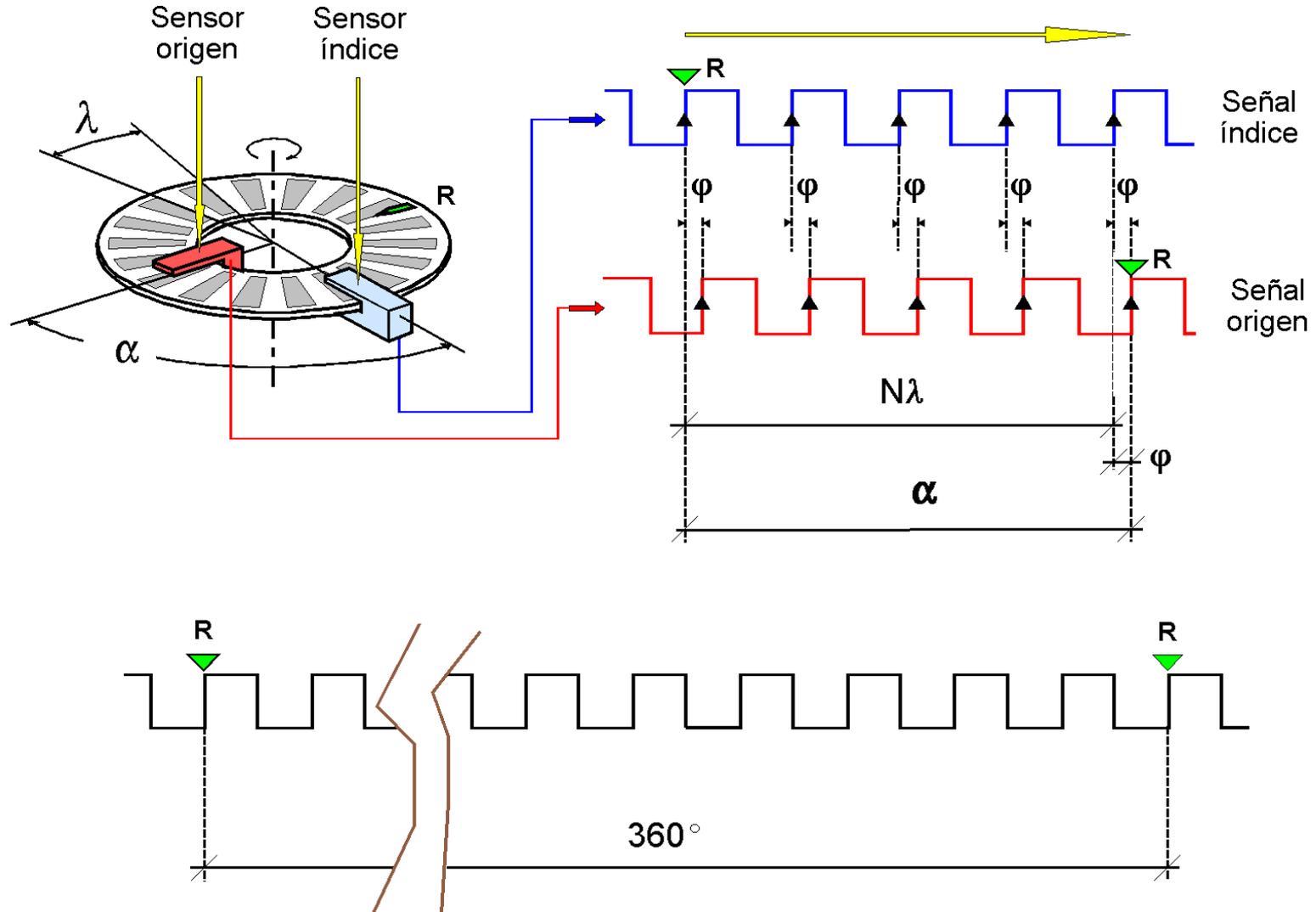
WILD T2000

LIMBO DINÁMICO

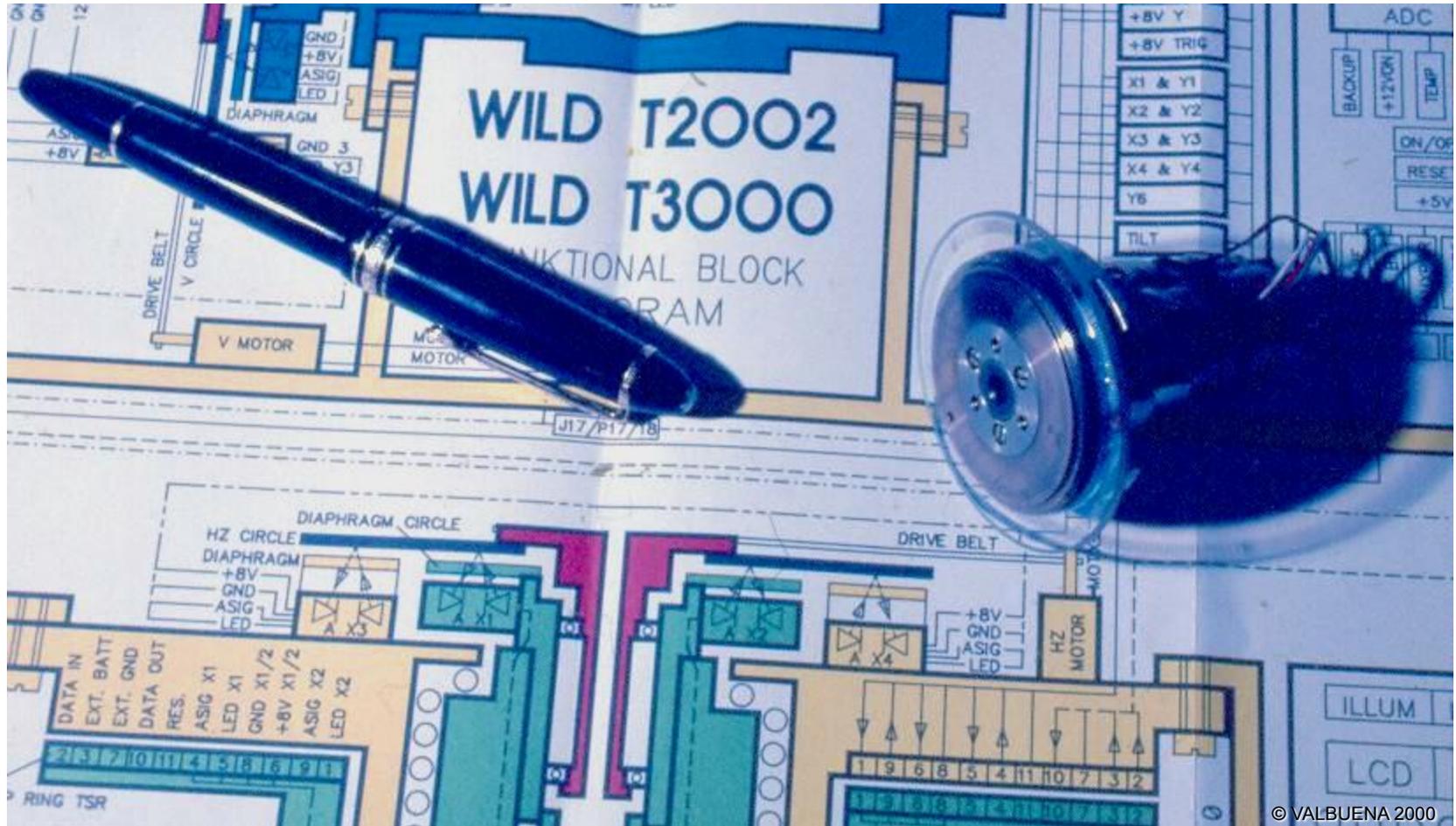
- 1- Base nivelante
- 2- Limbo
- 3- Motor sincrónico
- 4- Alidada
- 5- Anteojo
- 6- Sensor fijo a base
- 7- Sensor fijo a alidada
- 8- Eje vertical o principal
- 9- Eje horizontal o de muñones
- 10- Eje de colimación
- 11- Señal de origen angular



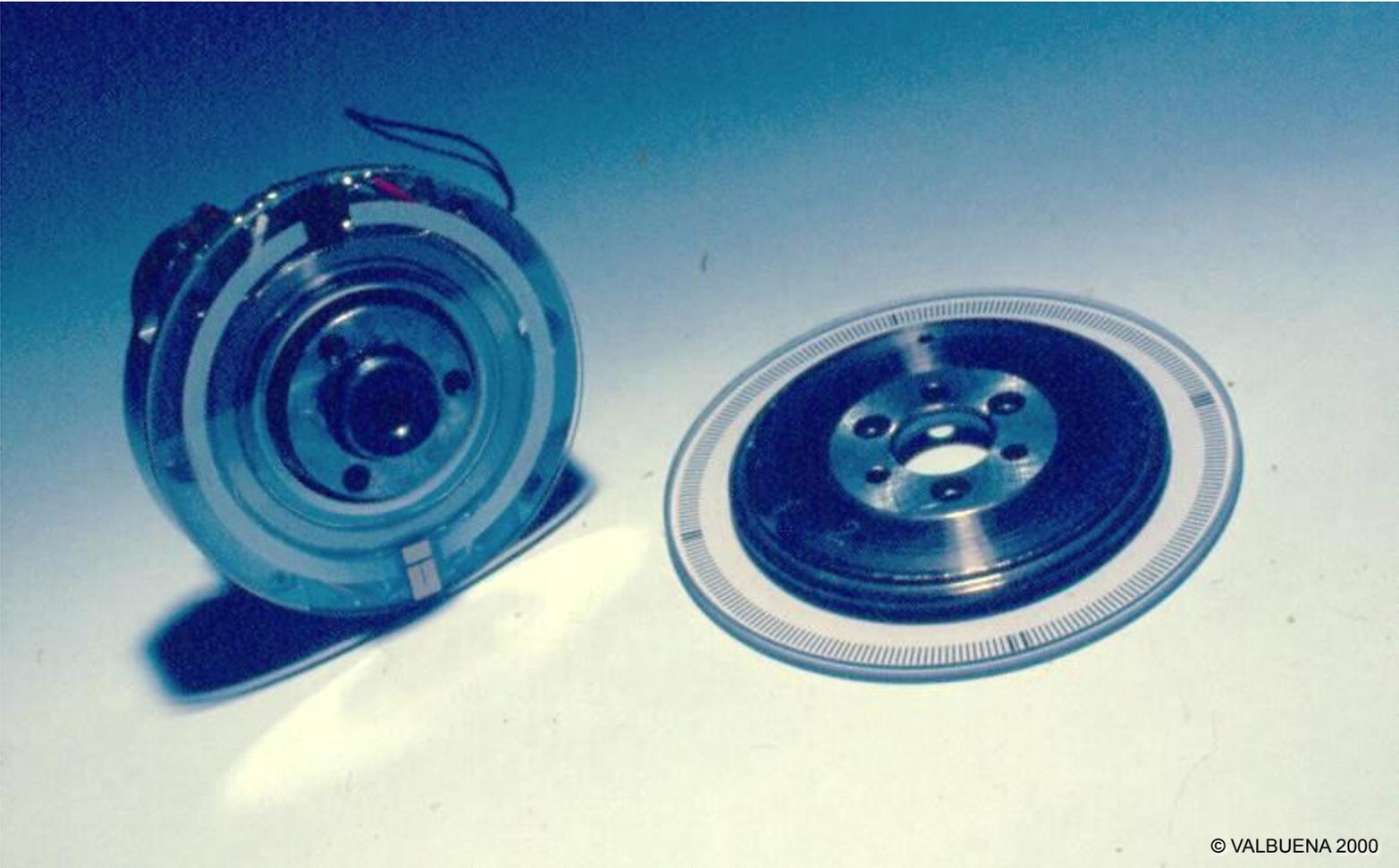
LIMBO DINÁMICO



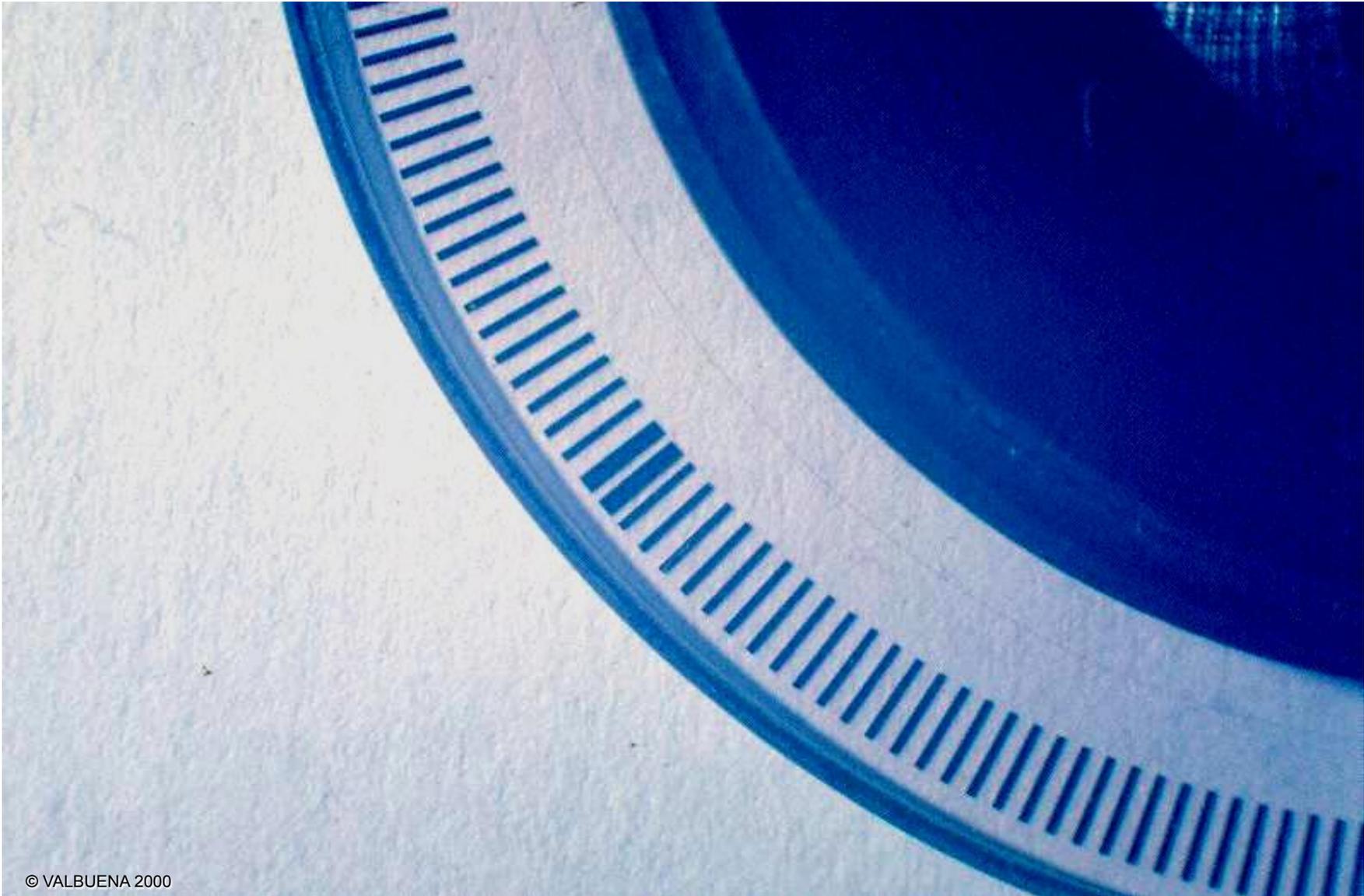
LIMBO DINÁMICO



LIMBO DINÁMICO

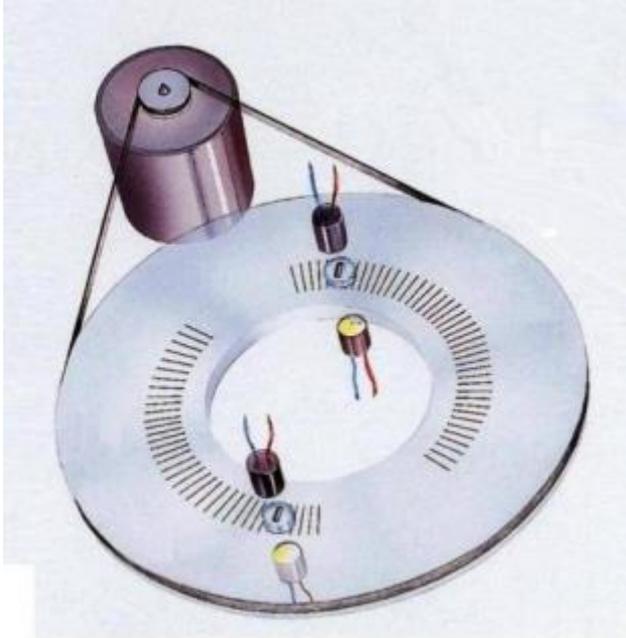


LIMBO DINÁMICO



LIMBO DINÁMICO

**Motor sincrónico y
transmisión por correa**



RESUMEN PRÁCTICO

Una vez descritos los sistemas fundamentales de limbos electrónicos, puede hacerse un cuadro resumen con sus diferencias más características:

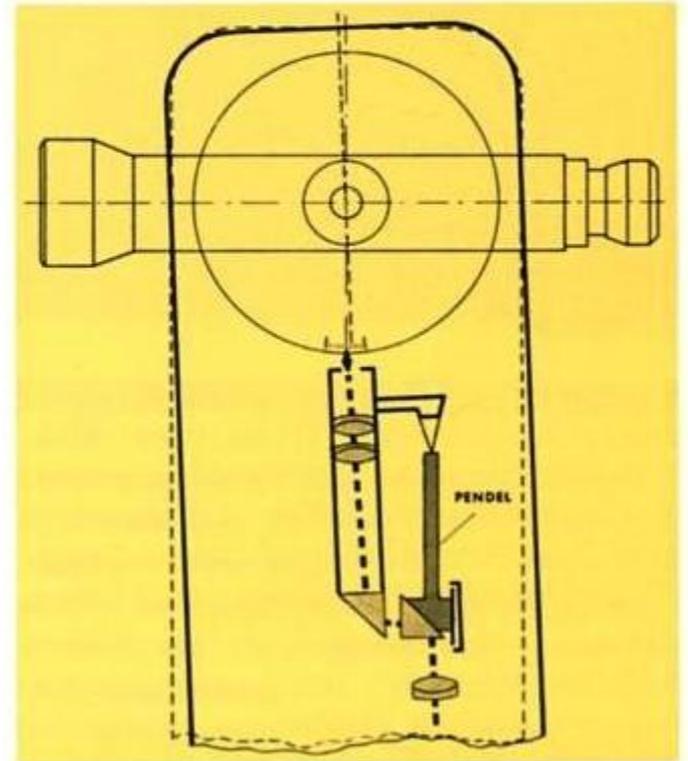
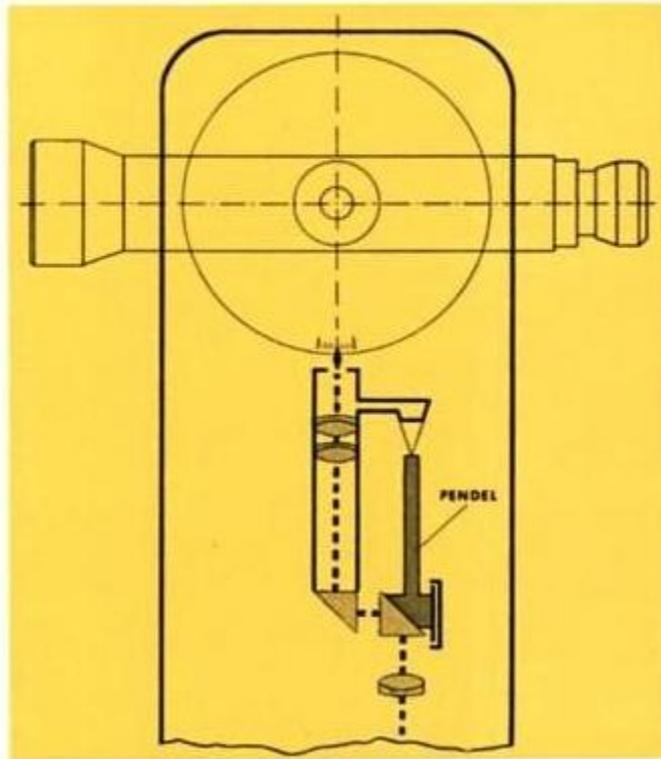
SISTEMA	PRECISIÓN	OBSERVABLE	LECTURA	COMPLEJIDAD
Absoluto binario	Baja	Lectura	Continua	Baja
Absoluto binario (con micrómetro)	Alta	Lectura	Discreta	Alta
Absoluto (código de barras)	Media-alta	Lectura	Continua	Media
Incremental	Alta	Incremento (giro)	Continua	Media
Dinámico	Alta	Ángulo	Discreta	Alta

Compensadores

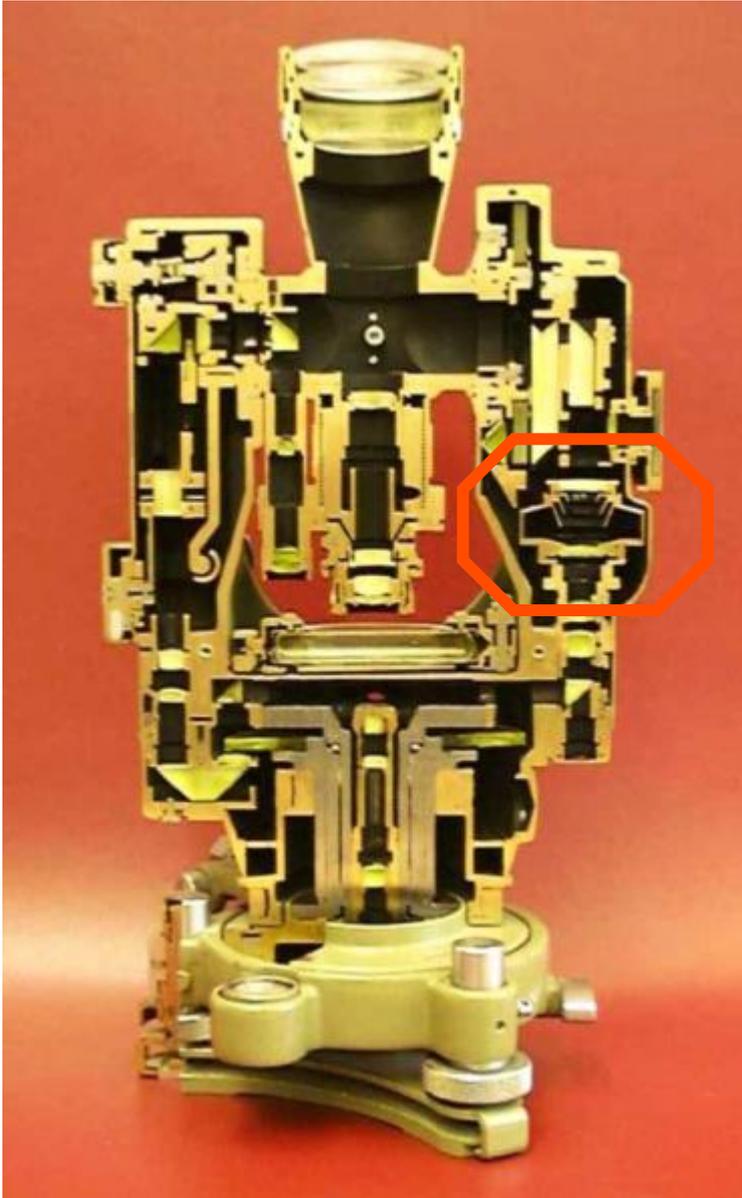
MONOAXIAL



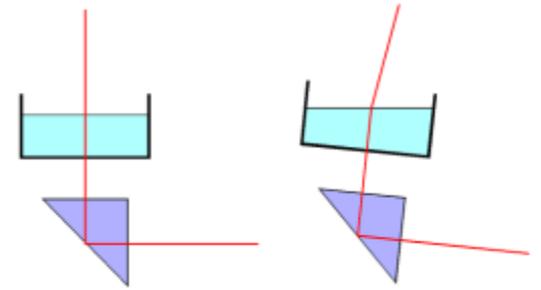
Perpendículo



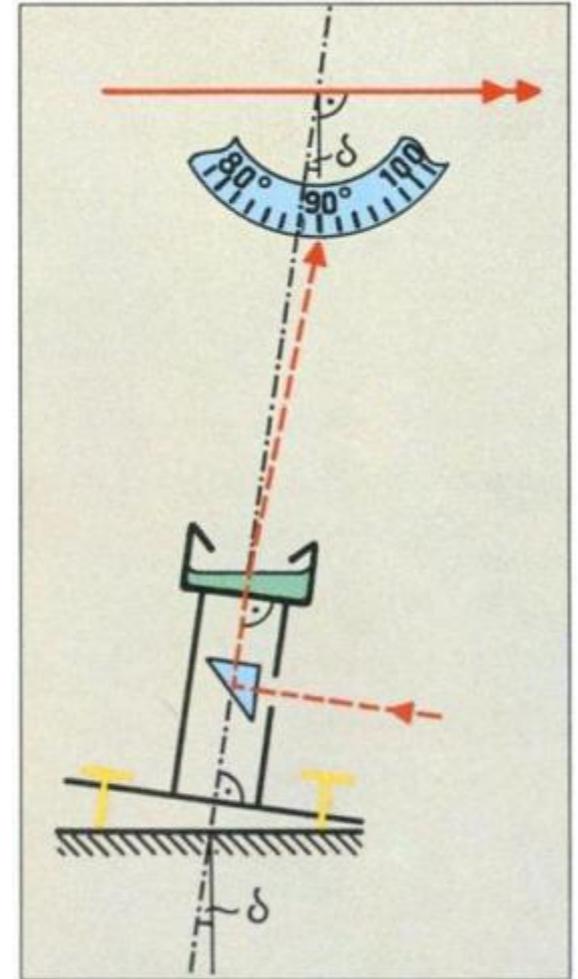
MONOAXIAL



Cuña óptica de líquido

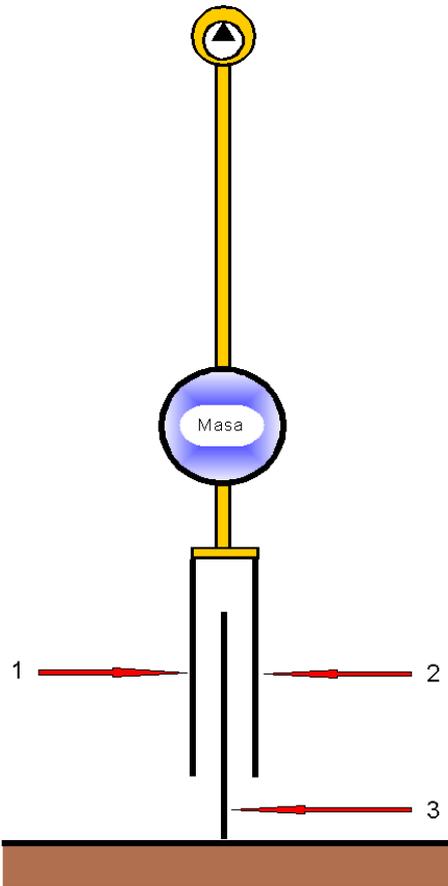


WILD T-1
Sección real



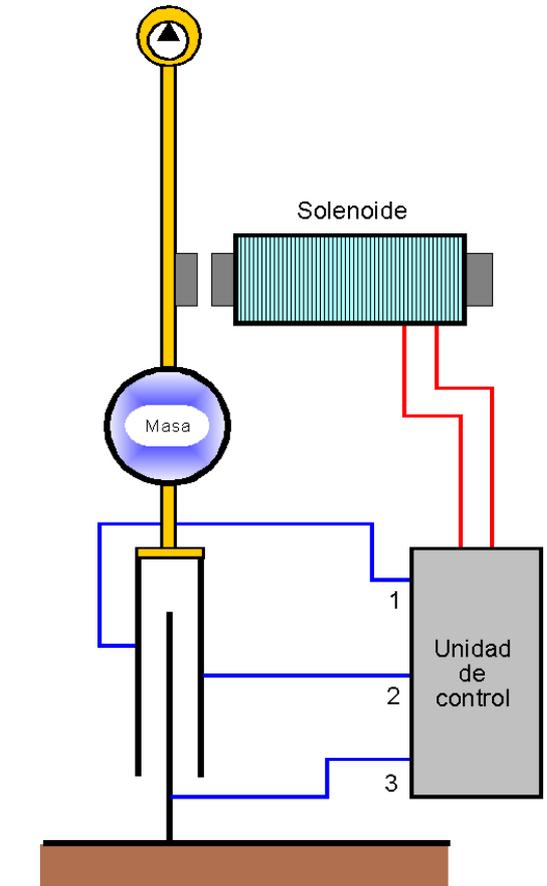
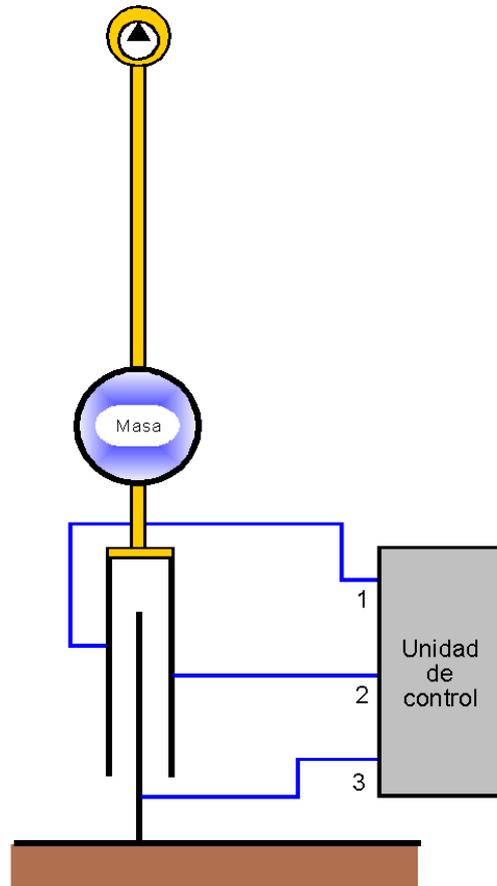
MONOAXIAL electrónico

Capacitivo



Observable: diferencial de capacidad

Feedback

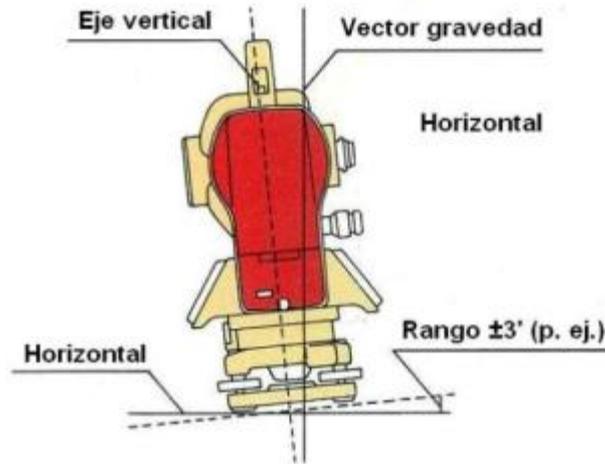


Observable: intensidad

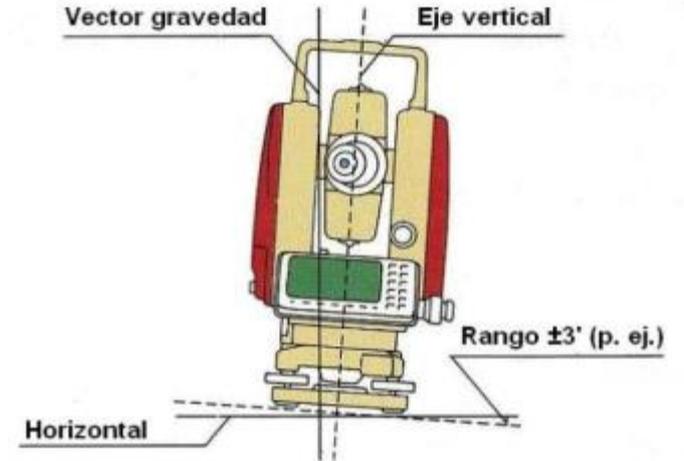
BIAXIALES

Miden:

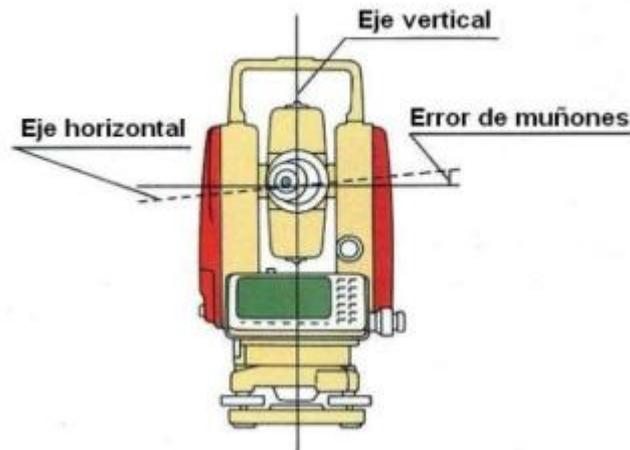
■ Cabeceo longitudinal



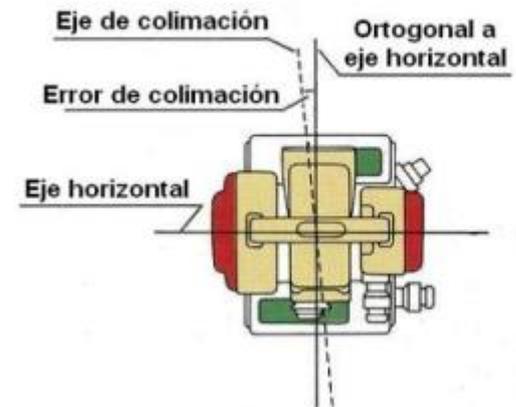
■ Cabeceo transversal



■ Error de muñones

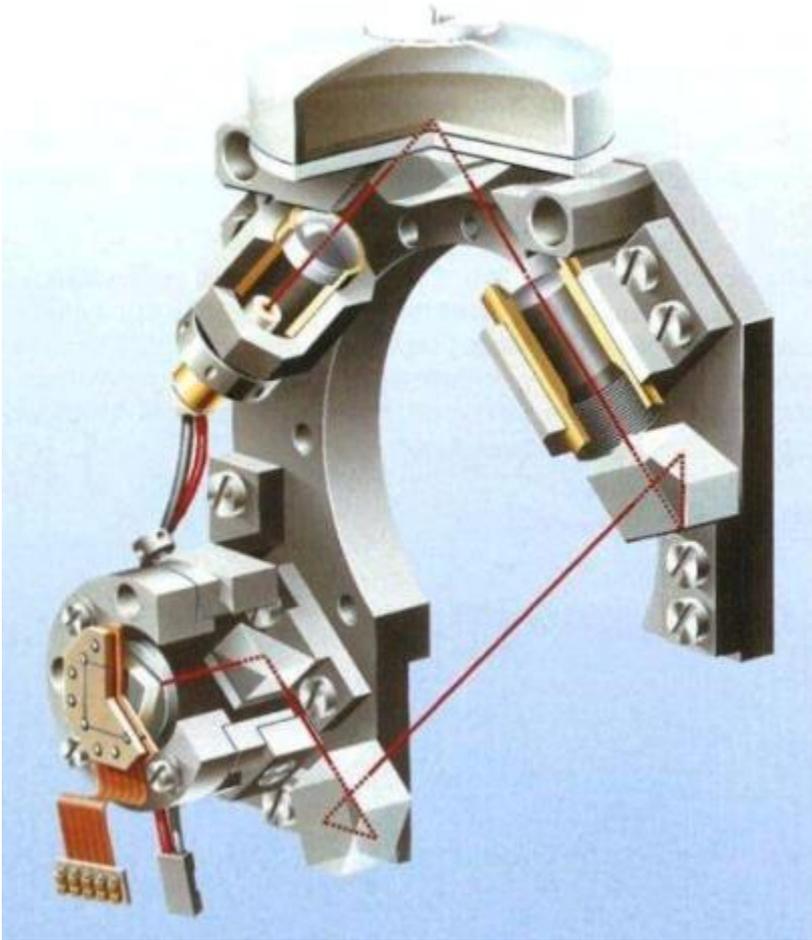
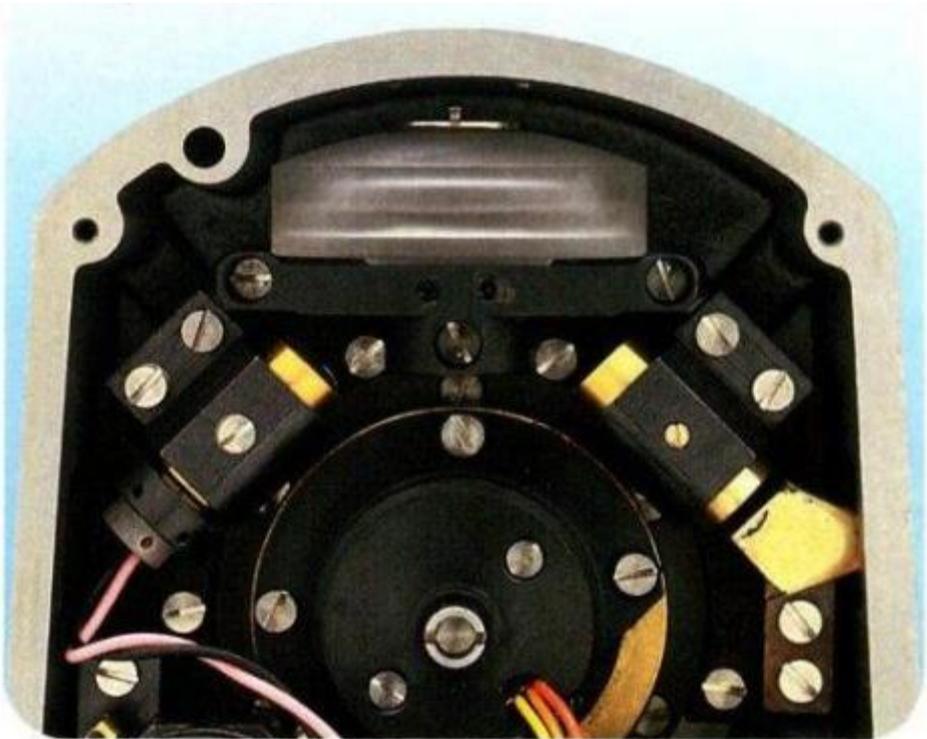


■ Colimación H



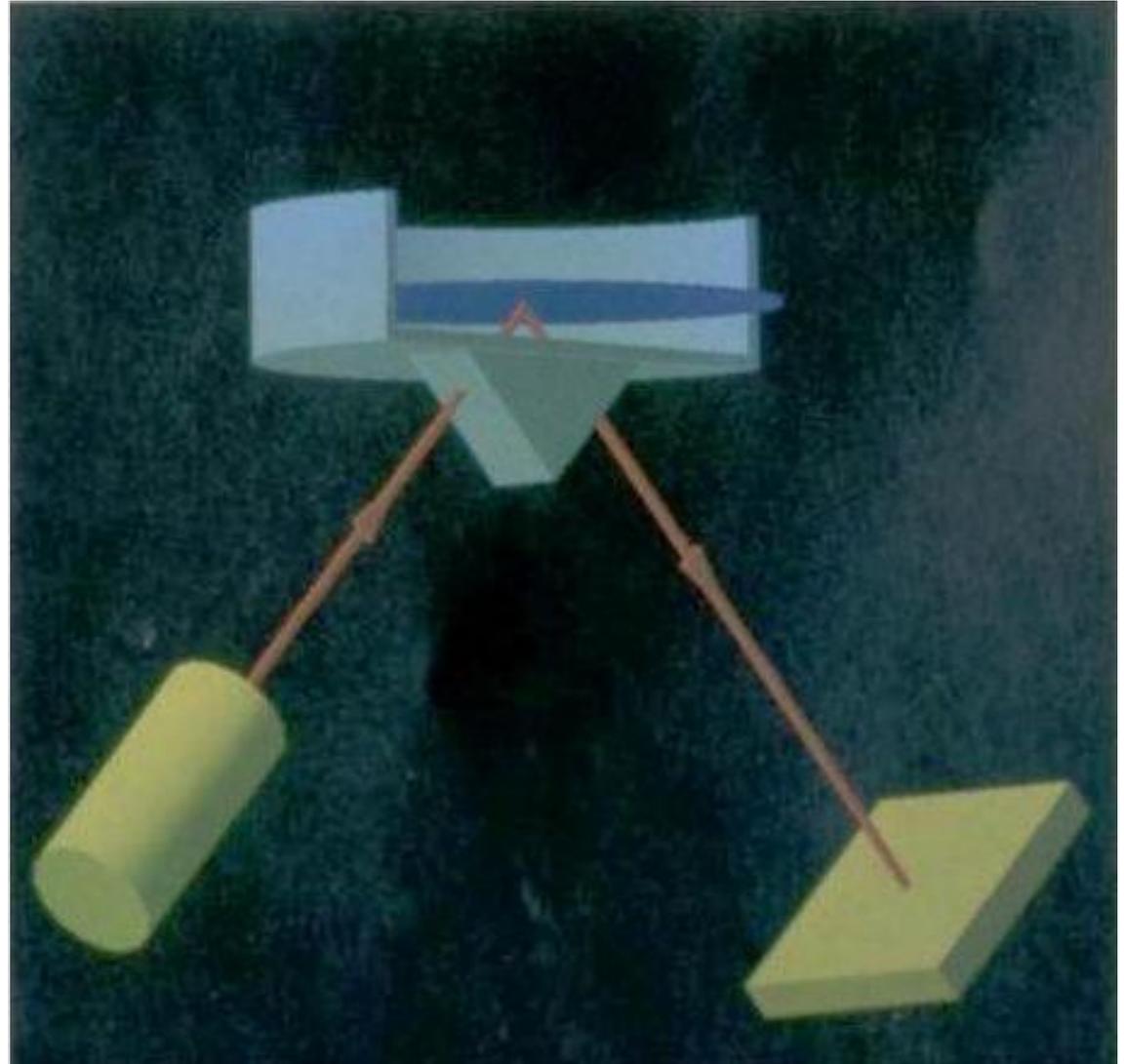
Modelan
error de
muñones y
colimaciones
H y V

BIAXIAL KERN

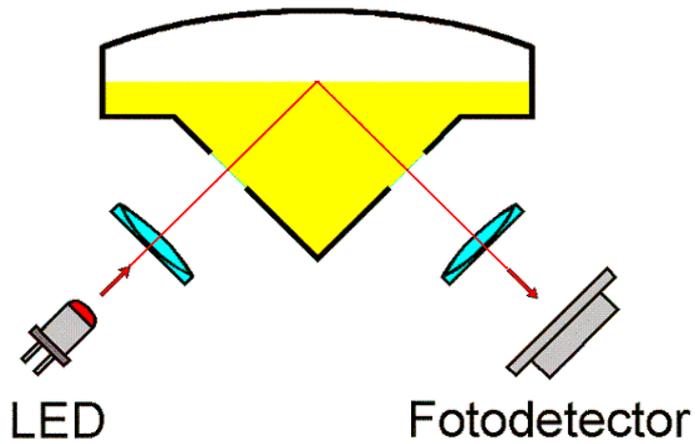
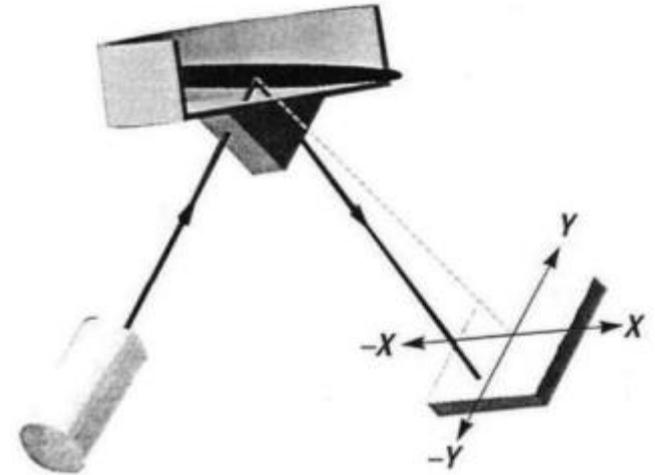
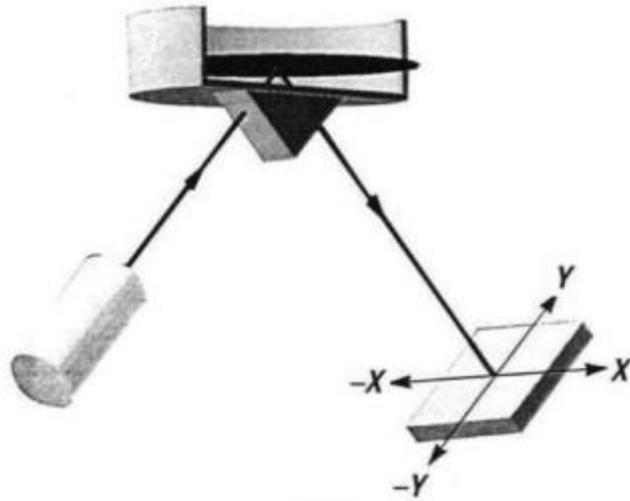


BIAXIAL KERN

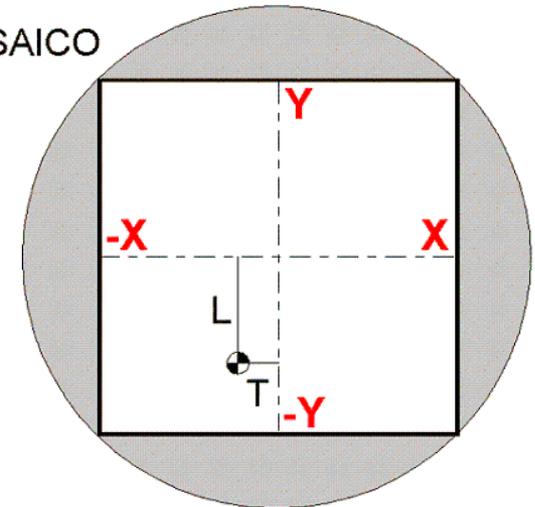
Reflexión por ángulo límite en superficie de cambio de medio (aire / aceite de silicona)



BIAXIAL KERN



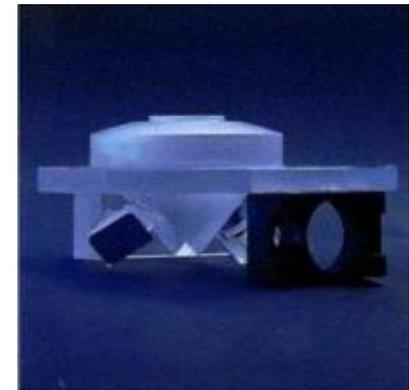
MOSAICO



CLINÓMETRO GEOTÉCNICO KERN NIVEL 20



**Precisión nominal
0,2"**



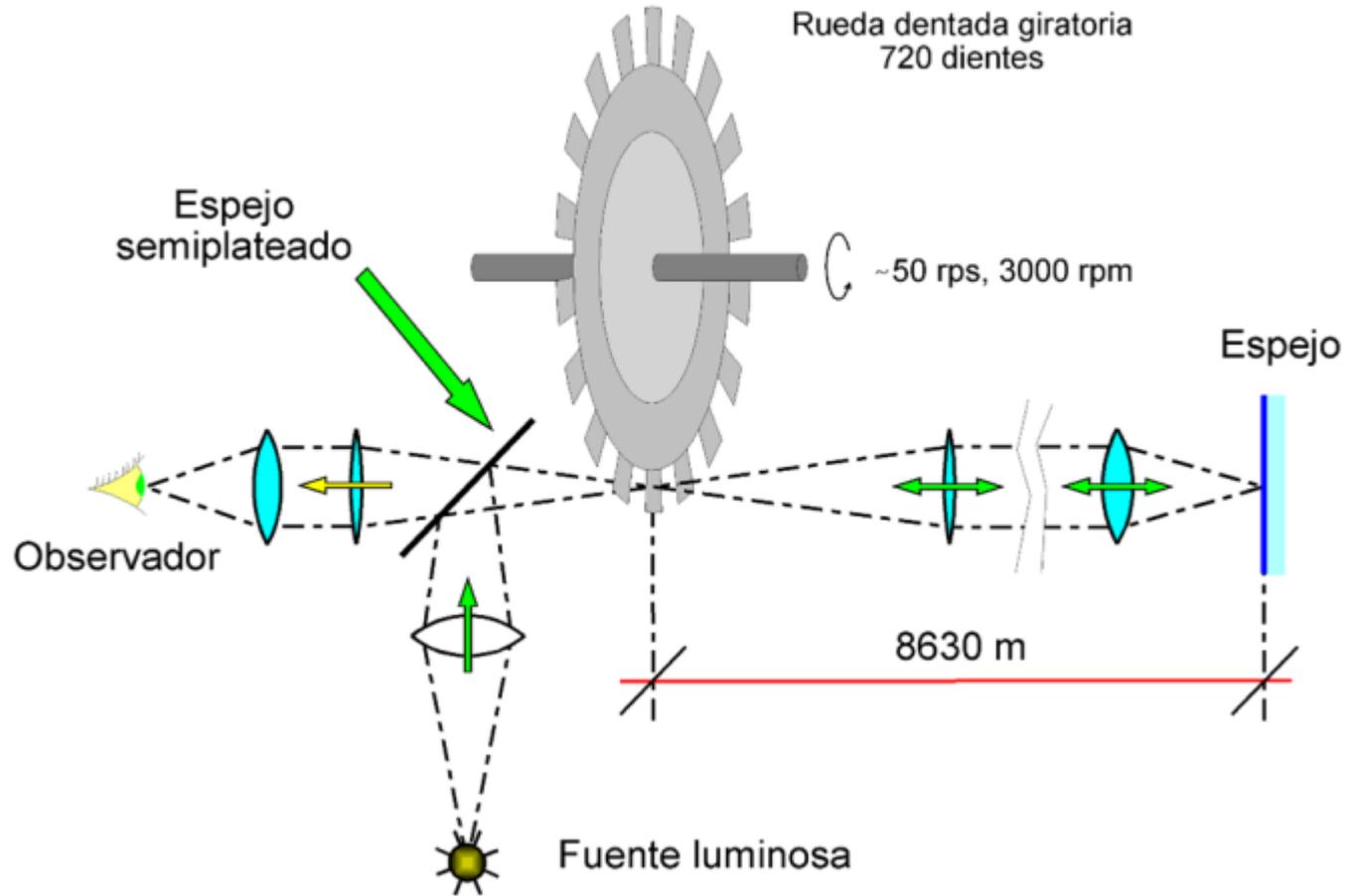
**Ahora lo distribuye
LEICA, también bajo
el nombre NIVEL 20.**

Medida de distancias

Debut de la electrodistanciometría (EDM)

Conociendo la distancia, quería medir la velocidad de la luz.

Con el problema inverso se podían medir distancias



© JOSÉ LUIS VALBUENA, 1998

Experimento pionero de Fizeau (1849)

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, comercializándose en 1953.

AGA GEODIMETER NASM-2A, modelo de 1959

Alcance <50 km

Peso 100 kg

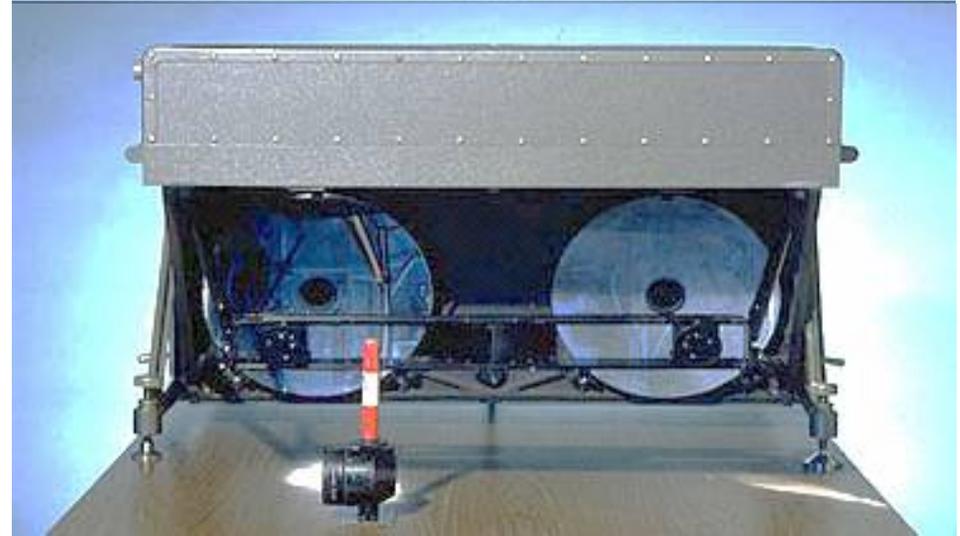
Portadora luz blanca

Modulación de fase

Tiempo de medida 2 a 3 horas

Tiempo de cálculo 1 hora

Error medida ≥ 1 ppm



**GEODIMETER
Bergstrand**



**Instrumento
conmemorativo
1949 - 1999**

**$\pm 1''$
 $\pm (1 \text{ mm} + 1 \text{ ppm})$**

Telurómetros (microondas)



En 1957, Wadley, del National Telecommunications Research Laboratory, de Sudáfrica, inventó el **TELLUROMETER** (tecnología RADAR), con portadora de microondas.

Con alcances de hasta 150 km, los telurómetros podían establecer ya la escala en las redes geodésicas midiendo lados directamente.

Los hilos invar quedaron en desuso.



TELLUROMETER MRA-1 (1959)

Calibración de telurómetros MRA3 en la base de Madridejos (estación en Bolos - 1982)



Geodímetro AGA 8



En la Base Väisälä (1979)

**Para medición de lados
medios de 1^{er} Orden
(hasta 60 km)**

AGA Geodimeter Model 8

Technical description

AGA
PUBLISHED 12/1977



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.a.)
- Low weight, 25 kg (55 lbs)
- 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.
Monje de Carr. Pinar, 43*
Teléfono 21 30 10 y 21 30 11
MADRID-14

RANGEMASTER III

RANGEMASTER III Range: more than 40 miles (65km)



SPECIFICATIONS

Range: 40 mi (65km)
 Accuracy:
 ± 20.00 feet ± 1 ppm and mean square error
 ± 2000 ± 1 ppm and mean square error
 from + 200' to + 1000' (-810 to + 400)
 ± 20.04 feet ± 1 ppm and
 ± 2000 ± 1 ppm and mean square error
 from - 200' to + 200' (-200 to + 200) and
 from + 1000' to + 1000' (+ 400 to + 400)
 Resolution: 0.01 ft. (three final count)
 Distance Resolution: Automatic 9 digit numerical display
 Units of Measurement: Feet or meters, selectable by switch
 Measuring Time: 5 sec. automatic
 Display: Over controlled, accurate 8-8 type
 20 characters zero set
 Light Source: Infrared-emission laser
 300.0mm wavelength
 Operating Temperature: -20°F to +120°F (-29°C to +40°C)
 Vertical: 0° to 40°
 Power Requirements: 12 Volt at 0.5 amp
 Telescope: 50X, illuminated for night use
 Dimensions: 9.5 x 9 x 17 in. (241 x 228 x 432 mm)
 Weight: Approx. 55 lbs. (25 kg)
 Equipment: Carry Aids: carrying case with foam inserts, instructions, Complete Calculator, 8 foot survey rods (2.4M) high
 Infrared, heavy duty extension leg, signal, instruction manual, operator's auxiliary key, auxiliary sight, heavy graph
 Volume: Not furnished with instrument, from manufacturer for all site ranging, 20 prints (10 ea. 7.5" x 9")
 Made in the U.S.A.
 Manufactured in accordance with applicable safety standards.
 Specifications subject to change without notice.

70 0000 RANGEMASTER III—Extended Long Range

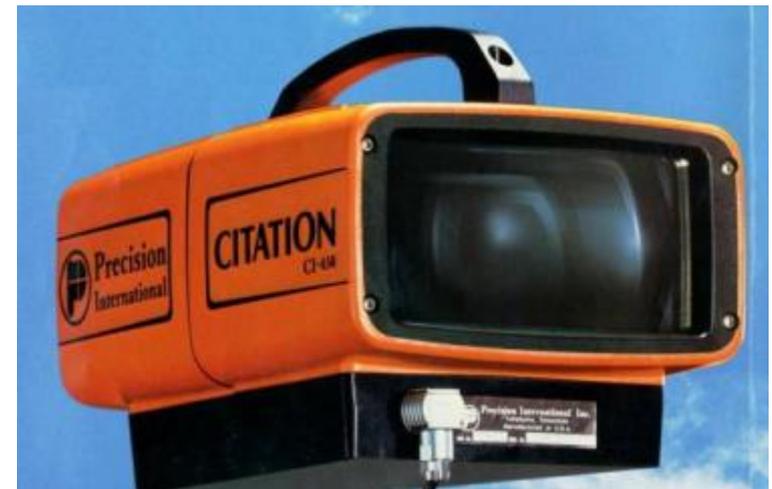
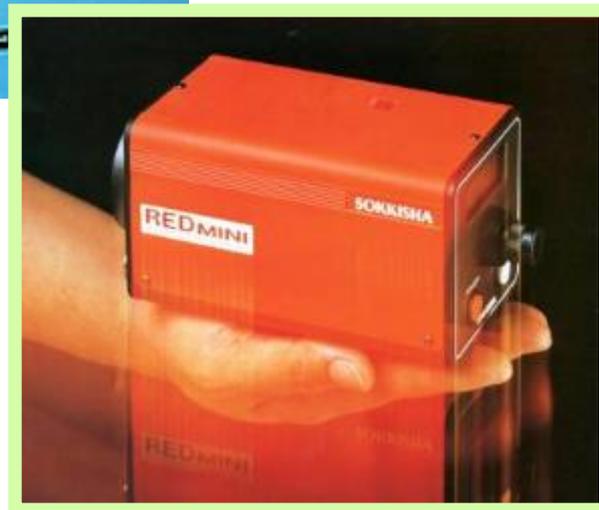
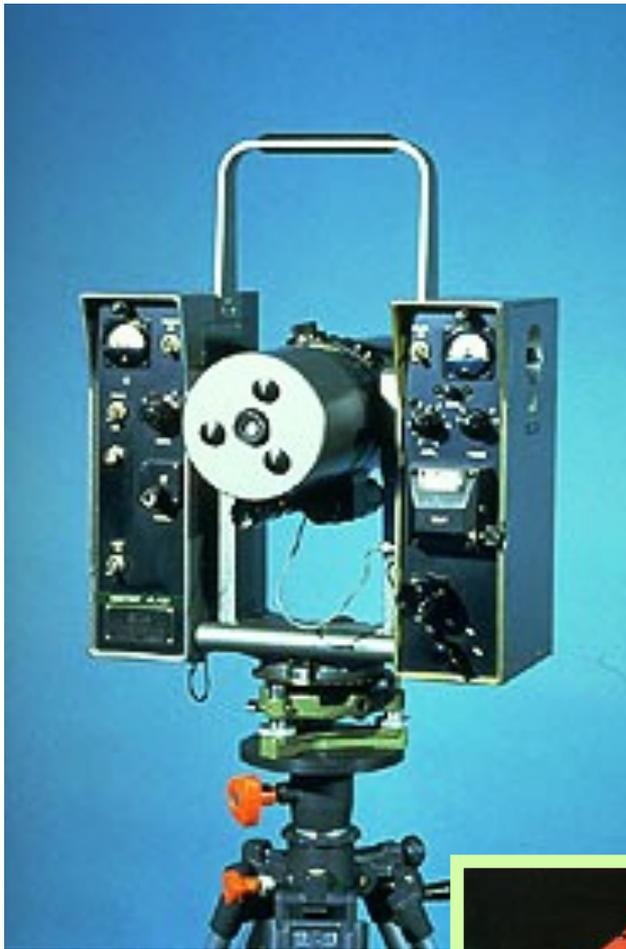


The RANGEMASTER III will not only be considered a multipurpose piece of EDM equipment, it encompasses all of the features of a short distance instrument with one that can measure ranges in excess of 40 miles. It is truly a portable device, weighing only 55 pounds and built to operate under the rigors of environmental extremes.

Red Geodinámica del Estrecho de Gibraltar y lados de órdenes 1º y 2º, hasta 40 km, 1980



En Topografía hubo profusión de diseños y aplicaciones



MEKOMETER ME-5000



**Control de deformaciones
(presas y estructuras)
 $\pm (0,2 \text{ mm} + 0,2 \text{ ppm})$**

KERN
SWISS
TOPOGRAFIA

ME 5000
El distanciómetro
electrónico de precisión



El experto competente

TERRAMETER LDM2

Láser rojo (He-Ne) y azul (He-Cd)

Precisión nominal $\pm (0,1 \text{ mm} + 0,1 \text{ ppm})$

Generador

Reloj
atómico
(Rb)

Sin
datos
meteo

Rango
10 km



El Valbu *fecit* 2017



Fin



elvalbu@yahoo.es

Gracias por la atención prestada

elvalbu@yahoo.es