ANÁLISIS HISTÓRICO DE UN SIGLO DE INSTRUMENTACIÓN TOPOGRÁFICA CLÁSICA

Segunda mitad del siglo XIX y primera del siglo XX

Ana María Flor Bertomeu

Octubre 2011

© Copyright: Ana María Flor Bertomeu
E-mail: anaflorbertomeu@gmail.com
RECEPCIÓN: 29-09-2011
APROBACIÓN: 03-10-2011

ANÁLISIS HISTÓRICO DE UN SIGLO DE INSTRUMENTACIÓN TOPOGRÁFICA CLÁSICA

Segunda mitad del siglo XIX y primera del siglo XX

Resumen:

El presente trabajo de investigación en Historia de la Ingeniería Cartográfica se ocupa del estudio de los avances de la instrumentación topográfica durante la segunda mitad del siglo XIX y la primera del siglo XX , especialmente en lo referente a goniometría y nivelación.

En la segunda mitad del siglo XIX, se estudia la instrumentación topográfica clásica que se usaba durante este periodo, así como la descripción y análisis de los aparatos más relevantes.

En la primera mitad del siglo XX, así mismo, se estudia la historia de las casas comerciales de instrumentación topográfica más importantes de la época en Europa, así como su instrumentación incluyendo su descripción y evolución histórica.

Palabras clave:

Historia instrumentación, goniómetros, planchetas, alidadas, brújula topográfica, sextante, Breithaupt, Zeiss, Askania, Fennel, Mom, Wild, Kern.

ANÁLISIS HISTÓRICO DE UN SIGLO DE INSTRUMENTACIÓN TOPOGRÁFICA CLÁSICA

Segunda mitad del siglo XIX y primera del siglo XX

Abstract:

The present research about History of Cartographic Engineering deals with the study of the progress of surveying instruments in the second half of the nineteenth century and the first half of the twentieth century, especially concerning to goniometry and leveling.

On the second half of the nineteenth century, we study the classical surveying instruments that was used during this period,as well as the description and analysis of the most relevant devices.

On the first half of the twentieth century, likewise, we study the history of the commercial companies of surveying instruments most important of the period in Europe, as well as its instrumentation including its description and historical evolution.

Key words:

Instrumentation history, goniometer, planchet, alidade, topographic compass, sextant, Breithaupt, Zeiss, Askania, Fennel, Mom, Wild, Kern.

ANÁLISIS HISTÓRICO DE UN SIGLO DE INSTRUMENTACIÓN TOPOGRÁFICA CLÁSICA

Segunda mitad del siglo XIX y primera del siglo XX

-Partes I y II-

Ana María Flor Bertomeu

Índice general

I INTRODUCCIÓN **12**

II SIGLO XIX **22**

1. ELEMENTOS DE LOS INSTRUMENTOS TOPOGRÁFICOS **23**

1.1. ELEMENTOS DE UNIÓN Y SUSTENTACIÓN 23

1.1.1. PIES 23

1.1.2. TRÍPODE 23

1.1.3. RODILLAS 26

1.2. ELEMENTOS ACCESORIOS 29

1.2.1. MIRAS 29

1.3. ANTEOJOS 37

1.3.1. TIPOS DE ANTEOJOS 37

1.3.2. RETÍCULOS 39

1.3.3. OBJETIVO 41

1.3.4. OCULAR 41

1.4. ALIDADAS 43

1.4.1. ALIDADA DE PÍNULAS (DE PRIMERA CATEGORÍA) 44

1.4.2. ALIDADA CIRCULAR (DE SEGUNDA CATEGORÍA) 44

1.5. Limbos, nonios y micrómetros 45

1.5.1. Limbos 45

1.5.2. Nonios 45

1.5.3. Micrómetros 46

1.6. Niveles 46

2. Escuadras **48**

2.1. Escuadras topográficas 48

2.1.1. Escuadras de agrimensor 48

2.1.2. Escuadras de reflexión 49

3. Teodolitos **51**

3.1. Excéntricos y concéntricos. Repetidores y reiteradores . . . 51

3.1.1. Teodolito repetidor Troughton, con anteojo montado en collares 52

3.1.2. Teodolito Troughton, repetidor, de tránsito 52

3.1.3. Teodolito repetidor, excéntrico, de Morin 54

3.1.4. Teodolito Troughton concéntrico, reiterador 56

3.1.5. Teodolito concéntrico, reiterador, de Breithaupt . . . 59

3.1.6. Teodolito excéntrico, reiterador, de Brunner 59

3.2. Reductores y autorreductores 62

3.2.1. Reductores 62

3.2.2. Autorreductores 69

4. Pantómetras **73**

4.1. Pantómetra 73

4.2. Pantómetra perfeccionada 74

5. GONIÓGRAFOS **77**

5.1. PLANCHETAS 77

5.2. ALIDADAS 80

6. GRAFO-GONIÓMETROS **82**

6.1. PLANCHETA GRAFO-NUMÉRICA DE VOTTI 82

6.2. REGLA-ECLÍMETRO DE GOULIER 83

6.3. TAQUIGRAFÓMETRO MAS ZALDÚA 84

7. SEXTANTES **87**

7.1. SEXTANTE DE REFLEXIÓN 88

7.2. SEXTANTE DE UN SOLO ESPEJO 88

8. BRÚJULAS **91**

8.1. BRÚJULAS DE LIMBO FIJO, DE LIMBO MÓVIL Y EXCÉNTRICAS 91

8.2. BRÚJULA DE AGRIMENSOR 92

8.3. BRÚJULA DE AGRIMENSOR PERFECCIONADA 93

8.3.1. BRÚJULA BREITHAUPT 94

8.3.2. BRÚJULA GOULIER 94

8.4. BRÚJULA CONCÉNTRICA 95

8.4.1. BRÚJULA CONCÉNTRICA 96

8.4.2. BRÚJULA CONCÉNTRICA DE PÍNULAS 97

III SIGLO XX **98**

9. BREITHAUPT-KASSEL **99**

9.1. TEODOLITOS 99

9.1.1. TEKAT 99
9.1.2. GAVEC 101
9.1.3. TEMIN 101
9.1.4. TECOL 105
9.1.5. TEAUT 107
9.2. BRÚJULAS 110
9.2.1. COCLA 110
9.2.2. BUMON 111
9.2.3. COPRI 113
9.2.4. COMPTA 115
9.2.5. CONAT 116
9.2.6. COSTU 117
9.3. NIVELES 119
9.3.1. NAKRE 119
9.3.2. NAKUM 119
9.3.3. NIFIX 121
9.3.4. AUCIR 123
9.3.5. NABON 125
9.4. INSTRUMENTOS ESPECIALES 126
9.4.1. TODIS 126
9.4.2. DRESI 128
9.4.3. NECLI 129
9.4.4. MERED 131

10. CARL ZEISS **132**

10.1. TEODOLITOS 134

10.1.1. TH 2 134

10.1.2. TH 3 136

10.1.3. TH 4 138

10.1.4. TH 5 140

10.1.5. THEO 002 143

10.1.6. THEO 010 A 145

10.1.7. THEO 010 B 147

10.1.8. THEO 020 A 150

10.1.9. THEO 020 B 153

10.1.10. THEO 080 155

10.1.11. THEO 080 A 157

10.2. NIVELES 158

10.2.1. NI 1 158

10.2.2. NI 2 159

10.2.3. NI 21 162

10.2.4. NI 22 163

10.2.5. NI 3/ NI 3K 164

10.2.6. NI 4 166

10.2.7. NI 42 167

10.2.8. NI 52 168

10.2.9. NI 025 169

10.2.10. NI 030 171

10.2.11 NI 004 173
10.2.12 NI 007 174
10.2.13 NI 040 A 177
10.2.14 NI 020 A/NI 021 A 178
10.2.15 NI 005 A 180
10.2.16 NI 002 184
10.2.17 RENI 002A 187
10.3. TAQUÍMETROS 190
10.3.1. BRT 006 190
10.3.2. DAHLTA 010 A 191
10.3.3. REDTA 002 192

11. WILD **195**

11.1. TEODOLITOS 196
11.1.1. T0 196
11.1.2. T1 197
11.1.3. T2 198
11.1.4. T3 199
11.1.5. T4 199
11.1.6. T16 201
11.1.7. T05 201
11.1.8. RDS 202
11.2. NIVELES 203
11.2.1. NA0/NAK0 203
11.2.2. NA1/NAK1 204

11.2.3. NA2/NAK2 205
11.2.4. N01/NK01 206
11.2.5. N05/NK05 206
11.2.6. N1/NK1 207
11.2.7. N2/NK2 208
11.2.8. N3 209
11.3. OTROS 210
11.3.1. RK1 210
11.3.2. GAK1 211
11.3.3. B3 211
11.3.4. GDP3 212
11.3.5. TM0 212
11.3.6. GAP1 212
11.3.7. GLO2 213

12. KERN **214**

12.1. NIVELES 215
12.1.1. GK0 215
12.1.2. GK0-A 217
12.1.3. GK1 218
12.1.4. GK1-A 220
12.1.5. GK2-A 223
12.1.6. GK23 226
12.2. TEODOLITOS 229
12.2.1. K0-S 229

12.2.2. K1-A 230

12.2.3. K1-M 232

12.2.4. K1-S 234

12.2.5. DK1 236

12.2.6. DKM1 238

12.2.7. DKM2 240

12.2.8. DKM2-A 241

12.2.9. DKM2-AL 243

12.2.10. DKM3 245

12.2.11. E1 246

12.3. ACCESORIOS 247

12.3.1. KERN OL 247

12.3.2. KERN IB 250

13. ASKANIA **251**

13.1. TEODOLITOS 252

13.1.1. TEODOLITOS TU, TT Y TTS 253

13.2. NIVELES 258

13.2.1. NA 258

13.2.2. LB 260

13.2.3. LI 261

13.3. INSTRUMENTOS ESPECIALES 262

13.3.1. TEODOLITO PARA SONDEOS AEROLÓGICOS GT 1 262

13.3.2. TAQUÍMETRO NIVELADOR TB-400 266

13.3.3. TEODOLITO DE PRECISIÓN TPR 268

13.3.4. Teodolito potenciómetro Tpot 270

13.3.5. Cineteodolito KTH 270

14. Mom **273**

14.1. Teodolitos 274

14.1.1. Te-B1/B3 274

14.1.2. Te-B11/B23 275

14.1.3. Te-D1/D3 277

14.1.4. Te-D11/D13-D31/D33 278

14.1.5. Te-D2/D4 280

14.1.6. Te-D21/D23-D41/D43 282

14.1.7. Te-E6/E7 286

14.2. Niveles 287

14.2.1. Ni-A3 287

14.2.2. Ni-A31 288

14.2.3. Ni-B1/B2 288

14.2.4. Ni-B11/B21 290

14.2.5. Ni-B3/B4 292

14.2.6. Ni-B5/B6 294

14.2.7. Ni-E1 297

14.3. Taquímetros 298

14.3.1. Ta-D1/D4 298

14.3.2. Ta-D11/D41 299

14.4. Giróscopos 301

14.4.1. Gi-B1 301

14.4.2. Gi-C1/C2 303

14.5. Otros 306

14.5.1. Plancheta con alidada autorreductora Ma-5 306

14.5.2. Pantógrafo K-731/K-733 308

14.5.3. Planímetro polar K-800 310

15. Fennel **313**

15.1. Teodolitos 314

15.1.1. FT1A Teodolito Universal 314

15.1.2. FT20A Teodolito Universal 315

15.1.3. FTH1 Teodolito de Ingeniería 316

15.1.4. FMK5 Teodolito Giroscópico 317

15.2. Taquímetros 318

15.2.1. FTRA Taquímetro de Reducción 318

15.3. Niveles 320

15.3.1. FNAK 1 320

15.4. Accesorios 320

15.4.1. Equipo de poligonación y de mira de base 321

15.4.2. Giróscopo para teodolitos TK4 322

15.4.3. Miras taquimétricas 322

15.4.4. Plomada Óptica para construcciones FL1 324

15.4.5. Vara telescópica TM5 324

15.4.6. Prismas pentagonales 324

IV CONCLUSIONES **327**

Parte I

INTRODUCCIÓN

En su artículo "*Instrumentos de Topografía. Recordando su historia*"[1] los profesores de topografía de la Universidad de Jaén, José Luís de la Cruz González y José Luís Mesa Mingorance, expresan con particular acierto la fundamental reflexión que informa este trabajo:

> "Más de una vez, leyendo en los catálogos de instrumentación, las maravillas que la técnica nos ofrece en cuanto a aparatos de topografía, no podemos por menos que sentir admiración por aquellos topógrafos que a través de los siglos han realizado sus medidas, con una instrumentación rudimentaria, que sólo imaginando que tuviéramos que emplear en la actualidad en la toma de datos, sentimos algo más que un escalofrío con tan sólo pensarlo.
>
> También es verdad que aunque ambos pertenecemos a la época del distanciómetro, viendo las actuales estaciones totales, sentimos cierta añoranza por nuestros queridos teodolitos analógicos, no por ello está en nuestro ánimo el olvidar la facilidad y comodidad actual, retrocediendo a las primeras instrumentaciones que utilizamos. "

De la necesidad del ser humano de orientarse y de situarse en el espacio surgieron los mapas, y con estos los instrumentos para poder crearlos y utilizarlos correctamente. Desde una defensa grabada de mamut, en la que encontramos el primer mapa del que tenemos constancia, hasta los actuales mapas topográficos nacionales, se ha usado una diversidad de instrumentación topográfica que ha ido evolucionando con el tiempo.

Empezaremos remontándonos a los navegantes de barco de los siglo XIV y XV. Esta época fue muy importante en cuanto a cartografía se refiere, ya que empezó a desarrollarse significativamente gracias a las expediciones que en la época se hacían. Estos primeros exploradores, usaban instrumentos para orientarse observando principalmente el Sol o las estrellas del hemisferio correspondiente. Entre esos instrumentos destacamos los astrolabios, cuadrantes, octantes, ballestillas o kamales[2].

[1] "*Instrumentos de topografía. Recordando su historia*", José Luís DE LA CRUZ GONZÁLEZ y José Luís MESA MINGORANCE, profesores de Topografía de la Universidad de Jaén. Enero de 1997. *http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=839*

[2] *"Compendio de historia de la ingeniería cartográfica"*. Manuel CHUECA, Mª Jesús JIMÉNEZ, Francisco GARCÍA y Miriam VILLAR. Ed. Politécnica de Valencia.

Como ejemplo del instrumental de navegación del que se proveían los barcos, podemos citar el inventariado de las naos que hicieron la primera travesía alrededor del mundo al mando de Magallanes, y que Pigaffeta escribe en su libro "Noticia del primer viaje en torno al mundo":

23 cartas de marear hechas por Nuño García

6 pares de compases

21 cuadrantes de madera

6 astrolabios de metal

1 astrolabio de madera

35 agujas de marear

4 cajas grandes para cuatro agujas

18 relojes de arena

Los 6 pares de compases les servían para el trazado de derrotas (rumbos) sobre el mapa y para medir las distancias sobre las cartas, utilizando las escalas o los troncos de leguas.

Para calcular la latitud usaban el cuadrante, un instrumento que tenía forma de un cuarto de círculo graduado de 0º a 90º y cuya función era medir ángulos verticales. La primera descripción del aparato se encuentra en el "Almagesto" de Ptolomeo. En 1462 lo menciona Diego Gomes en su viaje a Guinea por primera vez en uso para la navegación. Como instrumento astronómico, además de medir alturas, también servía, mediante complicadas escalas, para determinar la hora del día y de la noche, para la obtención de la declinación del Sol, y para usos topográficos mediante una escala altimétrica que llevaba incorporada. Para usarlo en el mar fue simplificado al máximo; reducido de dimensiones y utilizado únicamente para medir alturas. Aunque al principio no medía las alturas en grados sino que cada marca del limbo señalaba un lugar geográfico concreto; de este modo es mucho más comprensible para la gente del mar. Una vez perfeccionado, el instrumento consistía en un cuarto de círculo de unos 15 ó 20 cm de radio. Algunos cuadrantes estaban perforados en el centro para dejar pasar el aire. Su limbo estaba graduado de 0º a 90º, tenía dos pínulas en uno de los radios para visualizar el astro y del centro colgaba una cuerda con un plomo para marcar la vertical. Mediante la

cuerda se hacia la lectura en la graduación. En el centro disponía de una anilla para sujetar el aparato. Se construía de madera o de latón, (siendo este último el material que predominó a partir del siglo XV), se buscaba un material sólido y pesado lastrado en su parte inferior, para que amortiguara la oscilación debida al viento y al movimiento del buque y favoreciera la verticalidad. Para tomar medidas se colgaba el instrumento de la anilla cerca del palo, por ser el lugar de menos movimiento del barco. El oficial de derrota dirigía la visual al astro, mediante las pínulas, y una vez conseguida ésta, su ayudante sujetaba el hilo de la plomada al limbo y después realizaban la lectura.

El astrolabio también servía para determinar la hora sidérea del lugar de observación a partir de las coordenadas de las estrellas.

Se cree que la brújula fue inventada en China, aproximadamente en el siglo IX, e inicialmente consistía en una aguja imantada flotando en una vasija llena de agua. A esta aguja imantada se le cambió el soporte de agua por una Rosa de los Vientos, esta idea se atribuye a un marino de Amalfi, llamado Flavio Gioja. Este principio de brújula también formaba parte de la instrumentación de las naos de Magallanes, en concreto 35 agujas de marear y 4 cajas grandes para albergar las cuatro agujas, que facilitan la manipulación y uso de la aguja como brújula. La brújula era un instrumento sencillo pero imprescindible en la navegación de altura, su aguja indica la dirección del Norte Magnético en todas las situaciones. Permitía a los barcos alejarse de la costa hasta perderla de vista, con la seguridad de regresar al punto de partida siguiendo el rumbo contrario al llevado a la ida. Si se navega usando la brújula se debe tener en cuenta la declinación magnética que varía con la propia brújula utilizada, con el lugar de la observación, y con el transcurso del tiempo, y que su valor no es despreciable ni mucho menos porque puede llegar hasta el entorno de los 20º Este u Oeste del Norte verdadero. A partir del descubrimiento de la declinación magnética, cosa que percibió Colón en su primer viaje, la navegación transoceánica cuenta ya con el cálculo de su variación. En el siglo XVI aparecen instrumentos capaces de medir la desviación magnética, como el compás azimutal, cuyo objetivo era medir los azimutes de los astros. Su funcionamiento es similar al que describe Pigafetta: “consistía en calcular el azimut de un astro celeste y después leer el azimut o rumbo con el compás magnético. Comparando ambos azimutes, el teórico debido a

la observación astronómica referido al Norte geográfico, en el Hemisferio y el de la brújula con el Norte magnético, se deducía la declinación". Aunque existían varios métodos, por ejemplo:

1. Medir el azimut de la Polar, el Sol, una estrella o la luna cuando pasan por el meridiano del lugar. Como el azimut teórico en este caso tiene que ser 180º la declinación magnética es la diferencia con el rumbo obtenido. Pero si la observación de hace en el hemisferio boreal buscaremos la Cruz del Sur .

2. Medir el azimut en el orto o en el ocaso del Sol u otro astro visible. De este modo al medir el azimut magnético del astro y compararlo con el verdadero, que podemos obtener a partir de tablas o fórmulas de trigonometría esférica, obtenemos la variación en un lugar determinado. Este último método era más práctico porque medir el azimut de los astros a una cierta altura presenta dificultades, mientras que si el objeto a visar se encuentra en el plano del horizonte resulta más sencillo.

Finalizando el listado de instrumentos de la armada de Magallanes, incluye al final 18 relojes de arena que servían para medir el tiempo y la velocidad de la nao. En cada turno de guardia se podía anotar la velocidad (que se calculaba midiendo la distancia recorrida en el tiempo fijado por el reloj de arena) en una pizarra, dato que luego se pasaba al cuaderno de bitácora.

Avanzando en la historia y dejando atrás el siglo XIV, el cual supuso un antes y un después en la cartografía y también en la instrumentación, llegamos al siglo XVIII. Es entonces cuando empiezan a crearse los instrumentos que hoy día, aunque mejorados, son los que utilizamos.

Así pues, en el año 1720, aparece el primer teodolito, que tenía 4 tornillos nivelantes (como los teodolitos anglo-americanos de la casa Gurley), creado por Jonathan Sisson. Alrededor de esa época se crearon los nonios, cuyo creador fue Pedro Nuñez, e Ignacio Porro hizo lo propio con su anteojo y su taquímetro autorreductor. En 1730, John Sisson crea el primer goniómetro, y Jesse Ramsden introdujo los tornillos micrométricos para las lecturas angulares. Es en 1830 cuando Adrien Bordaloue se atribuye la creación de la mira parlante, y en 1839 aparece el taquímetro.

La plancheta, era un instrumento muy usado, ya que fue el único instrumento que reunía con

éxito la toma de datos y la realización del dibujo en campo. Ésta, cuyo nacimiento data de 1765, se ha utilizado hasta hace muy poco, sobretodo se usó en España para los levantamientos expeditos y como apoyo de campo en fotogrametría aérea, y el Servicio Geográfico del Ejército le sacó mucho partido. Se piensa que la última plancheta fue fabricada por la casa comercial Sokkisha.

A Reichenbach le atribuimos una serie de contribuciones a la creación, o mejora, de los instrumentos topográficos. Así, en 1804 creó el teodolito repetidor y el centrado forzoso, y en 1810 le pone al anteojo astronómico unos hilos estadimétricos, creando así el anteojo estadimétrico y abriendo paso a la estadimetría.

Ignacio Porro, topógrafo e inventor italiano, también ha hecho multitud de creaciones enfocadas a la topografía. Algunas de ellas son, como hemos dicho anteriormente, su anteojo estadimétrico analático y un taquímetro autorreductor; en 1823 introduce el ángulo paraláctico, y en 1854 crea unos binoculares prismáticos mediante la aplicación del prisma Porro, que más adelante el doctor Abbe (trabajador de la casa Zeiss) mejoró.

Está claro que todos estos inventos hacían que las casas comerciales fueran mejores unas de otras. A pesar de haber una infinidad de casas comerciales, las más destacables sin duda fueron la Carl Zeiss, la casa Kern y la casa Wild, que también fueron las más innovadoras.

En 1846, se abrió la casa Zeiss, gracias a Carl Zeiss (fig. 1), en Jena (Alemania). Hoy es una de las mejores casas de instrumentación que existen, y su historia no deja indiferente a nadie. La casa Zeiss creó, en 1862, el Theo 010, y en 1909, el nivel de burbuja partida. Además, a esta empresa se le atribuye el sistema óptico de lectura en puntos diametralmente opuestos del limbo. Al trabajar Ernst Abbe para la firma, y al mejorar el prisma de Porro, Zeiss se quedó con la patente de los binoculares prismáticos, lo cual no es sorprendente, ya que, Carl Zeiss era un apasionado de las lentes y siempre intentaba mejorarlas. Toda la óptica de la casa está tratada con una capa azulada, llamada capa T-Zeiss, para controlar las aberraciones de las lentes. Se les atribuye la lente más grande del mundo.

Después de la Segunda Guerra Mundial, la firma tuvo que dividirse en dos partes, una en Alemania Occidental (Oberkochen) y otra en Alemania Oriental (Jena). De hecho, directivos

Figura 1: Carl Zeiss con 47 años

e inventores de Zeiss, tuvieron que huir a Oberkochen con todos los datos e inventos creados hasta entonces, ya que la empresa de Jena fue destruida parcialmente. El gobierno alemán oriental volvió a levantar la empresa Zeiss en Jena, desde entonces hubo una tremenda rivalidad entre las dos empresas por se la auténtica Zeiss. Ese interés era tan grande porque Zeiss era una empresa con una reputación altísima en el mundo. De esa rivalidad, surgieron en 1950, el Theo 002 de Jena y el Ni2, el primer nivel con compensador automático, de Oberkochen. Con la reunificación de Alemania, la casa Zeiss también se reunificó.

En 1908, Heinrich Wild (fig. 2), trabajador de Zeiss, introduce el anteojo de enfoque interno en los instrumentos. Más tarde, crearía su propia empresa, la firma Wild, que abandonaría para fabricar instrumentos por su cuenta. A Wild se le atribuyen inventos como el nivel de coincidencia, el micrómetro de coincidencia y, en 1880, la estadía invar. Además, fabricó los famosísimos instrumentos DKM1, DKM2 y DKM3 de la casa Kern. En 1950, surge el T-3 firmado por la empresa Wild Heerburgg. Para finalizar con esta empresa, no olvidaremos mencionar al teodolito-brújula T0, el cual fue una revolución, aunque no alcanzó las expectativas esperadas.

En cuánto a la casa Kern, de Jacob Kern (fig. 3), decir que fue una empresa que pudo competir con Zeiss o Wild pero que nunca llegó a su altura. Siendo así, Wild compró Kern cuando

Figura 2: Heinrich Wild

Figura 3: Jakob Kern

ésta ya estaba acabada, pasándose a llamar Leica. Aún así, Kern introdujo en la historia de la instrumentación aparatos muy singulares como el DKR de 1936, el DKM3 de 1939 o el DKRM de 1946. Además, tenemos su procedimiento de lectura de limbos mediante doble círculo que se le aplicó a todos los instrumentos de la firma.

Además de estas casas, hubo otras que también contribuyeron a la mejora de la instrumentación como la casa Askania, que en 1956 introdujo el compensador del limbo vertical, o la casa Fennel, cuyo creador, Otto Fennel, construyó en 1893 el primer taquímetro autorreductor llamado Hammer.

De hecho, la casa Askania fue una casa importante. Estuvo vinculada a grandes inventos, más en tamaño que en lo que a topografía se refiere, y a varios campos de acción, como el cine o la navegación, especialmente la aérea. Carl Bamberg, aprendiz de Carl Zeiss y fundador de Askania, podía llegar a crear tanto un telescopio para un observatorio como una cámara de cine. De su mente nacen instrumentos tan curiosos y revolucionarios como el cineteodolito o los teodolitos para sondeos aerológicos.

En este punto, el avance de los instrumentos nos lleva a los inicios de la distanciometría, que excede al objeto de nuestro trabajo y que nos limitamos a esbozar. Ésta se desarrolla con los telurómetros y los distanciómetros.

Los primeros experimentos de Fizeau y Michelson, en 1849, para determinar la velocidad de la luz, fue el principio de la distanciometría. Basándose en el fundamento de la teoría de las diferencias de fase de los rayos de luz, en 1948, en Estocolmo, se construye el primer geodímetro para fines geodésicos por la casa AGA Co., gracias al profesor Bergstrand.

En 1957, Wadley, del Consejo Sudafricano para la Investigación Científica e Industrial, construyó el primer telurómetro, basándose en ondas electromagnéticas en vez de en rayos de luz. El invento pertenece a la empresa Tellurometer Ltd. Chessington, Surrey, Inglaterra, la cual pertenece al grupo Plessey. Este aparato se probó en las bases de Mtubatuba y Kroonstad, para ello, mandaron a un equipo que tuvo que medir la distancia entre esas bases con teodolito y mira invar. Una vez acabó el equipo de medir, después de varios meses y con una temperatura de más de 40ºC, se llevó allí el telurómetro y en cuestión de minutos tuvieron las mismas distancias con errores similares.

Pero es en 1968 cuando la empresa Wild saca al mercado el revolucionario Distomat Di-10. Este era un distanciómetro acoplable a los teodolitos y que trabajaba con suma precisión. A partir de ahí, todas las casas empezaron a tener sus propios distanciómetros, como accesorios para los teodolitos, como por ejemplo el DM 500 de Kern o el Eldi-1 de Wild.

Gracias a este invento, empezaron a intuirse las estaciones totales, siendo el ejemplo más claro el creado por la casa Kern. Tenia componentes para combinarlos y crear una temprana estación total, estos eran distanciómetros, calculadoras HP, grabadoras de cintas para la salida de datos que luego eran aptas para el ordenador y receptores electrónicos. Pero hemos de esperar a que la firma americana Hewlett-Packard se decida a unir todos estos elementos en uno, creando la primera estación total basándose en su taquímetro electrónico HP 3820-A.

Las estaciones totales se han desarrollado muchísimo durante el siglo XX, destacando el sistema Mommos de Sokkia (antiguamente llamada Sokkisha) y las estaciones de Geo-5 cuyo modo de alimentación mediante placas solares no tuvo éxito.

Pero como todo mejora, y la instrumentación no es menos, surgieron los sistemas GNSS a raíz del lanzamiento del primer satélite artificial al espacio por la Unión Soviética, en 1957, al que se llamó Sputnik-1.

A grandes rasgos, este es el escenario donde se enmarca este estudio. Y dentro de él, un siglo que abarca la segunda mitad del XIX y la primera del XX donde, según es una constante histórica, la urgencia social estimuló a la Ciencia y a la Tecnología Cartográfica y su desarrollo en la doctrina, praxis e instrumentación hizo posible la consecución de los retos planteados. En especial, el desarrollo de las Geodesias Nacionales, con sus mapas correspondientes por hojas y a escalas medianas, un ambicioso objetivo político y científico planteado durante la Ilustración, cuya consecución requirió dedicación y esfuerzo realmente admirables a lo largo de los cien años citados y aún más. En estos tiempos actuales de planes cuyo fruto se espera recoger y aprovechar de inmediato merece a lo menos recuerdo y reconocimiento de altruismo de aquellos que gastaron su vida en un proyecto que ciertamente, no verían terminar. Midieron distancias y ángulos con precisiones y eficacia que todavía hoy nos sorprenden. En las páginas siguientes se encontrará noticia de la instrumentación que emplearon y su evolución, especialmente por lo que a goniometría y nivelación respecta, objeto esencial del presente trabajo y fracción fundamental y mayoritaria de la panoplia disponible en el periodo en estudio.

Parte II

SIGLO XIX

Capítulo 1

ELEMENTOS DE LOS INSTRUMENTOS TOPOGRÁFICOS

1.1. ELEMENTOS DE UNIÓN Y SUSTENTACIÓN

1.1.1. PIES

El más sencillo de ellos se llama “chuzo” o “bastón de madera”, que sirve para estacionar los instrumentos prolongando el eje vertical de éstos. Se trata de una vara de madera que mide alrededor de 1,20 a 1,50 m, en su parte inferior tiene un regatón de hierro para clavarlo fácilmente en el suelo y en la parte superior tiene una espiga tronco-cónica para introducirla en el instrumento.

Este tipo de elemento de unión no es muy preciso por lo que es preferible usar trípodes.

1.1.2. TRÍPODE

Contamos con tres tipos de trípodes.

El más sencillo, el de “espiga” (fig. 1.1), consta de una meseta con forma de prisma, triangular o hexagonal, sobre el que se apoya una espiga para hacer la unión con el instrumento. A

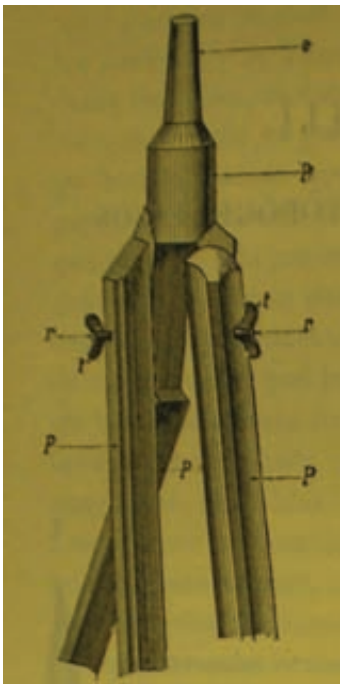


Figura 1.1: Trípode de espiga

la base se le añaden tres patas rígidas, las cuales se sujetan a la base con unos pernos de hierro, si apretamos los pernos de forma adecuada inmovilizamos las patas. Este tipo de trípode puede usarse en todo tipo de terreno, para conseguir su verticalidad se variará la abertura de las patas.

El trípode “de plataforma y de seis brazos” (fig. 1.2) se compone de una meseta, generalmente circular, de la cual salen tres resaltos que es donde se sujetan las patas. Para que las patas no se muevan son atravesadas, junto con los resaltos, por un perno en cada conjunto de resalto y pata como se puede ver en la figura. Las patas tienen las puntas de hierro para asegurarlas al suelo. En la base hay un orificio central, para dejar caer la plomada que se cuelga del instrumento, y tres chapas metálicas incrustadas, para que se apoyen los tornillos de la plataforma donde se monta el instrumento.

El trípode “ingles” (fig. 1.3) es el más perfeccionado y usado de la época. La sujeción de los tres pies de madera a la meseta del trípode es como en el trípode “de plataforma y de seis brazos”, pero las patas en su parte superior llevan armaduras metálicas. El centro de la meseta es atravesado por una rosca, donde se atornilla una plataforma nivelante para encajar el instrumento.

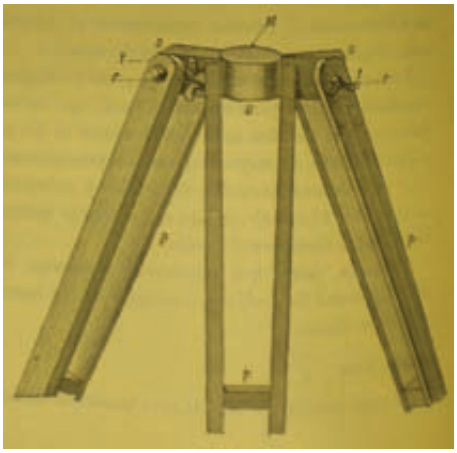


Figura 1.2: Trípode de plataforma y de seis brazos

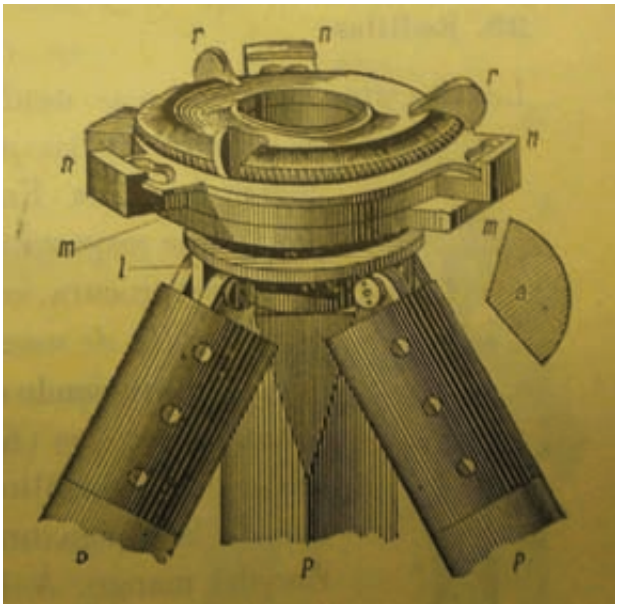


Figura 1.3: Trípode inglés

1.1.3. RODILLAS

Estos elementos de unión son los más usados de la época, sirven para unir el trípode con el instrumento. Dentro de las rodillas se distinguen las de nuez y las de cilindros, también están las plataformas y ejes nivelantes que sirven para el mismo fin que las rodillas.

La rodilla de nuez se usa con los trípodes de espiga, se trata de una esfera que se introduce en un cilindro metálico y hueco que posee un tornillo con el cual se asegura la esfera y que está situado en el trípode (fig. 1.4). El cilindro tiene unas placas metálicas con forma redondeada en su extremo final, la esfera se coloca entre esas placas para realizar la unión. Si el tornillo está flojo, las placas están sueltas y la esfera se puede mover, así se puede llevar el instrumento a la dirección deseada. Para fijar la esfera se aprieta el tornillo y las placas se cierran, dejando la esfera inmóvil.

Aunque con este elemento se consigue rápidamente la verticalidad del instrumento, se debe usar con aparatos poco exactos, ya que, los movimientos son bruscos y sólo se llega a conseguir una grosera aproximación y por qué las placas metálicas redondeadas no tienen la sujeción que necesitamos.

La rodilla de cilindros, o de Cugnot, está formada por dos cilindros perpendiculares entre sí, que son atravesados por varillas metálicas acabadas en rosca (pernos), alrededor de las cuales puede girar. Los extremos de uno de los cilindros descansan en dos soportes perpendiculares a la plataforma del trípode y las varillas acabadas en rosca sirven para permitir o detener el movimiento del cilindro. El otro cilindro se une de la misma manera a una plataforma en la cual van fijos los instrumentos que se usan en esta rodilla, tal como podemos ver en la figura 1.5.

Este tipo de rodilla está más perfeccionada que la rodilla de nuez pero es más pesada, incomoda y lenta que esta última. Además, la rodilla de cilindros, se ve muy afectada por la humedad. Por estas razones es raro ver este tipo de elementos.

Las plataformas nivelantes (fig. 1.6) son los elementos de unión, entre trípodes e instrumentos, más exacto que existe en la época, los anteriores no dan tanta precisión como dan éstos. Se compone de un cilindro central hueco del que salen tres brazos, los cuales forman 120º

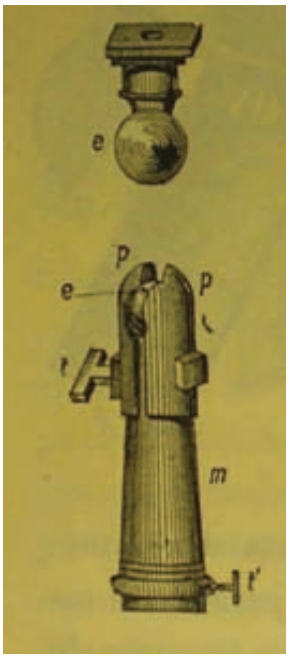


Figura 1.4: Rodilla de nuez

entre sí, con un tornillo en el extremo de cada brazo que se llaman “tornillos nivelantes”. Para algunos instrumentos ingleses e italianos (como los de la casa Gurley) son necesarios cuatro tornillos nivelantes. Para unir la plataforma nivelante al trípode cada fabricante ideó una técnica, pero la forma más general es pasar una tuerca entre el cilindro hueco de la plataforma nivelante y el agujero central de la meseta del trípode.

Los ejes nivelantes (fig. 1.7) son como una varilla que se une al instrumento, como una prolongación de su eje vertical, y en su parte inferior tiene una esfera que está alojada en otra varilla hueca. Esta varilla hueca es un vástago con forma prismática cuadrangular, con cuatro tornillos opuestos dos a dos que hacen que podamos mover el instrumento en dos direcciones. Para la nivelación, usamos una bolita o ponemos un nivel en dos direcciones para comprobar su horizontalidad. Es un sistema muy poco usado, ya que las plataformas nivelantes dan más seguridad.

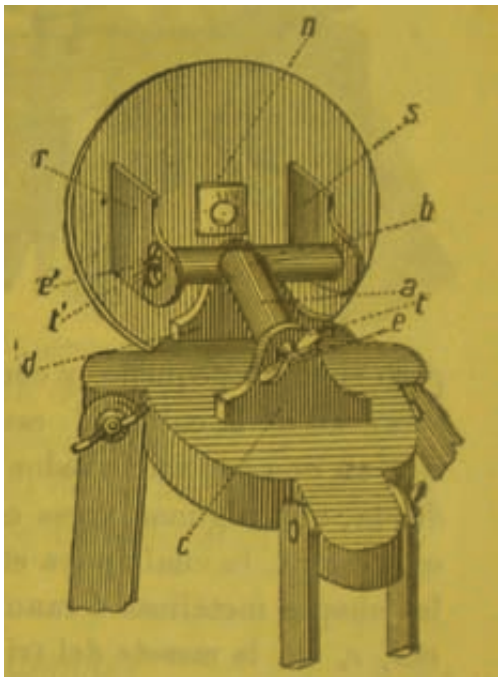


Figura 1.5: Rodilla de cilindros

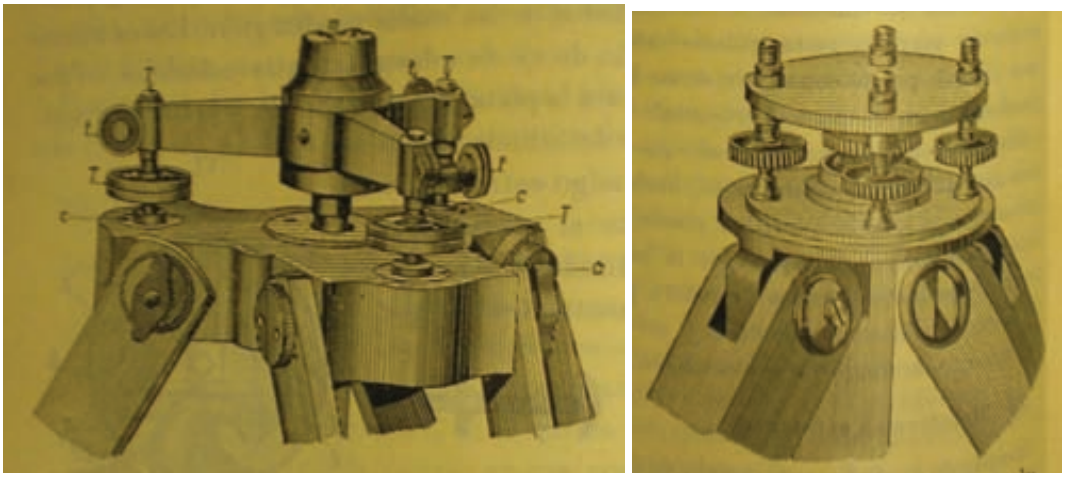


Figura 1.6: Plataforma nivelante

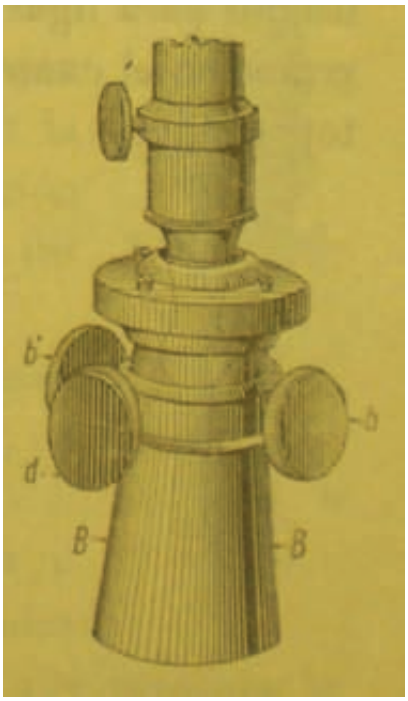


Figura 1.7: Eje nivelante

1.2. Elementos accesorios

1.2.1. Miras

Miras corrientes

La más común es la “mira de tracción” (fig. 1.8), tiene como longitud total cuatro metros y se compone de 3 o más listones que están plegados y se sacan a tracción. Se puede igualar a las actuales miras, la única diferencia es que en esta mira los números están al revés.

Otro modelo bastante usado es la “mira de corredera” (fig. 1.9), tiene dos mitades que resbalan una sobre la otra.

Otro tipo es la “mira plegadiza” (fig. 1.10), que se compone de cuatro trozos, de un metro, con división de centímetros en una cara y en la otra de dobles centímetros. Los trozos están articulados con una bisagra, y al abrirse se sujetan con pernos situados en ambos cantos de los trozos. Para trabajar con ella la sujetará el portamiras por unas agarraderas que situaremos en su parte superior y la colocaremos vertical por medio de una plomada física, situada a un lado de la mira.

Figura 1.8: Mira de tracción

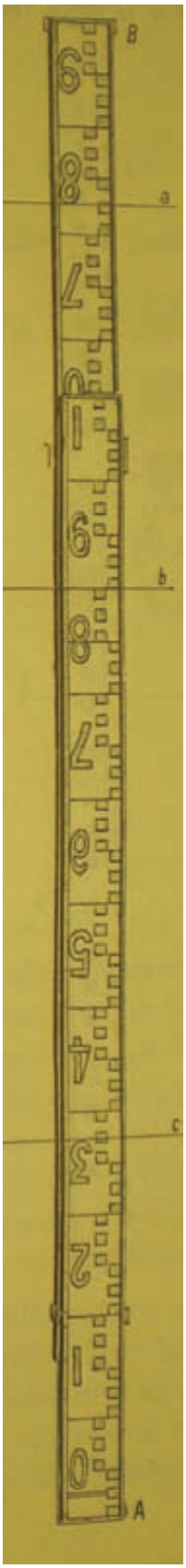


Figura 1.9: Mira de corredera

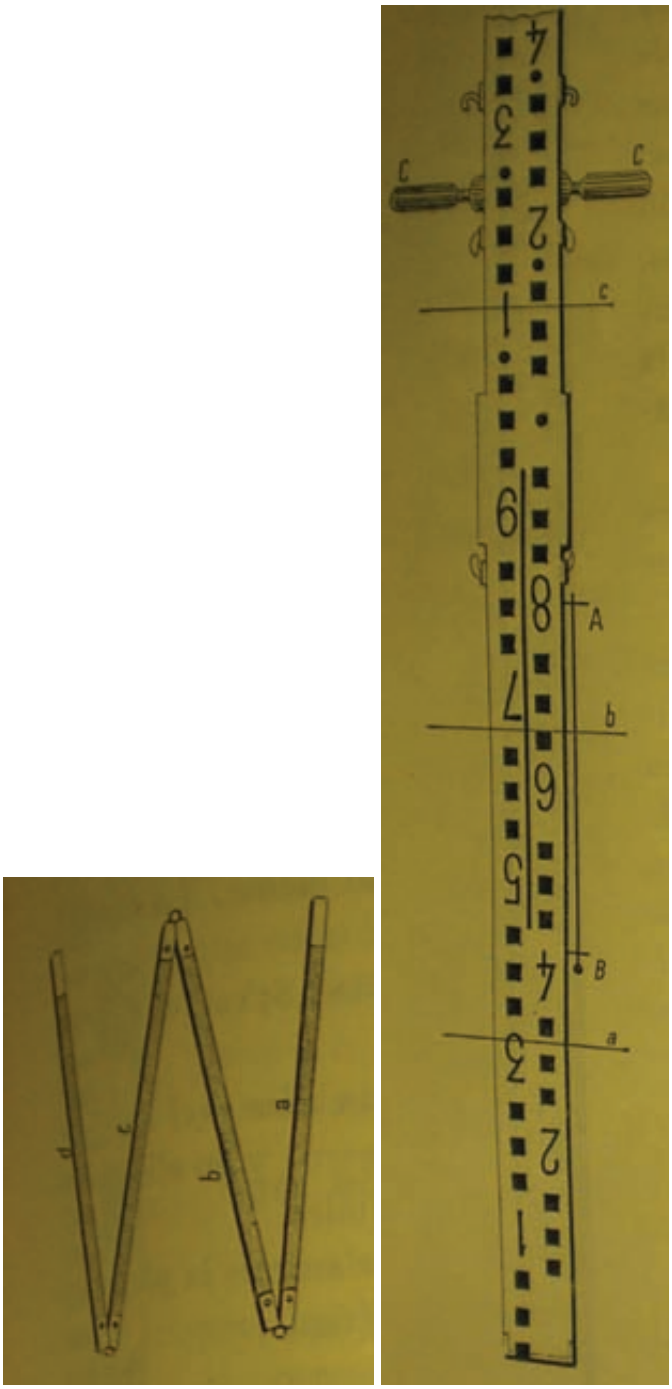


Figura 1.10: Mira plegadiza

MIRA TROUGHTON

Esta es una de las miras ideadas para un tipo de instrumentación concreta. Esta mira es en apariencia igual a la mira corredera, se diferencian en la manera en la que están pintadas. La mira Troughton lleva, a lo largo de una mitad longitudinal del frente, divisiones rojas y negras, alternativamente, de doble centímetro y otras de un centímetro pintadas de la misma manera en la otra mitad longitudinal.

MIRA RICHER

La mira Richer tiene como peculiaridad que, aunque las divisiones miden un centímetro, se debe leer con un anteojo en que $2\tan\frac{1}{2}\beta = 0{,}005$, en el que cada división corresponde a dos unidades. La mitad derecha de la mira en sentido longitudinal, pintada en blanco está dividida de medio metro en medio metro, que corresponde a cincuenta divisiones de unidades (en verdad cien unidades, ya que cada una corresponde a dos) y que están pintadas de rojo. Al otro lado de la mira, está el espacio de las decenas, divididas cada una en diez que corresponden a las decenas.

MIRA PORRO

Las miras de Porro, al igual que las de Richer y Troughton, están creadas para un tipo de instrumentación específica con un ángulo diastimométrico de $2\tan\frac{1}{2}\beta = 0{,}04$.

Porro tiene dos miras, una que lleva sólo una graduación y otra que lleva dos graduaciones. La primera graduación es un décimo del ángulo diastimométrico, lo que resulta $2\tan\frac{1}{2}\beta = 0{,}004$; la segunda graduación esta dividida en quintos del ángulo diastimométrico, lo que resulta $2\tan\frac{1}{2}\beta = 0{,}008$; y la última se divide en mitades, lo que corresponde a $2\tan\frac{1}{2}\beta = 0{,}02$. El aspecto de las miras es totalmente diferente a las anteriores, ya que el color de fondo de la mira es blanco y las divisiones son blancas, la separación entre las divisiones son unas líneas finas negras.

Figura 1.11: Mira Troughton

Figura 1.12: Mira Richer

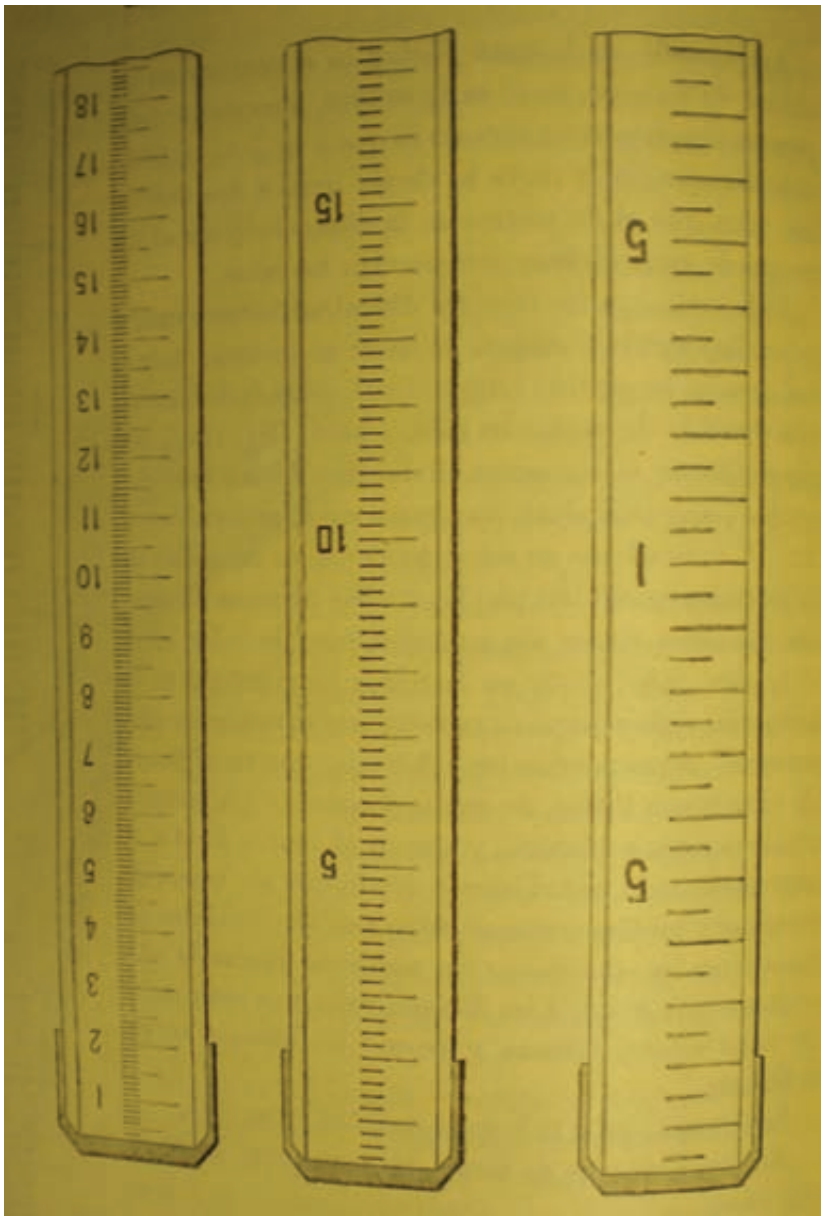


Figura 1.13: Miras de Porro

MIRA DE ESTADÍA SIN NÚMEROS

Esta mira fue creada por Gutiérrez Bedoya, la cual consta de dos cuerpos de madera de 1,5 m. de longitud cada uno, unidos por una bisagra para plegarla. Las divisiones están hechas en dobles centímetros agrupados por decímetros, que se alternan a los lados de la mira. Cada cinco decímetros se señalan con un triángulo, siendo diferente la posición del triángulo del primer y tercer metro al del segundo.

1.3. ANTEOJOS

1.3.1. TIPOS DE ANTEOJOS

ANTEOJO ASTRONÓMICO

Este anteojo, ideado por Kepler en el año 1611, se encuentra en la mayoría de los instrumentos topográficos y su característica principal es que invierte la imagen.

Tal y como se explica en el libro "Topografía" de D. Manuel Chueca Pazos, este tipo de anteojo: "Consta de una lente convergente (objetivo) montada coaxialmente con otro sistema convergente (ocular), siendo la distancia focal de la primera muy superior a la de la segunda."

Por óptica proyectiva sabemos que este tipo de anteojo producirá una imagen A"B", a partir de un objeto AB, que será invertida, virtual y mayor que el objeto.

ANTEOJO ESTADIMÉTRICO

El anteojo estadimétrico o de Reichenbach, es un anteojo astronómico al que se le ha añadido un estadímetro de primera categoría. En este tipo de estadímetros, los cuales vienen a ser unos retículos, la parte movible es la diferencia de lecturas que efectuamos en la mira. Mediante un sencillo cálculo, y sabiendo la constante de multiplicación y de adición del instrumento, podemos obtener la distancia a la mira.

Figura 1.14: Mira de estadía sin números

ANTEOJO DE PORRO

El anteojo de Porro, o lo que es lo mismo, el anteojo estadimétrico de analatismo central, tiene como objeto la eliminación de la constante aditiva.

Este anteojo se trata de un anteojo astronómico al que se le añade una lente convergente entre el objetivo y el retículo, invariablemente fija, a la que se le llama lente analática. La distancia entre la lente analática y el objetivo, será inferior a la distancia focal del objetivo, para que siempre quede en medio del objetivo y la imagen. Esta disposición nos dará una imagen real.

TELEOBJETIVO

El teleobjetivo es un anteojo que aumenta la amplificación hasta un cierto punto. Así pues, sin verse alterada su longitud puede dar aumentos que sólo se conseguirían con enormes instrumentos.

1.3.2. RETÍCULOS

El retículo puede ser un disco metálico y circular, agujereado, donde están sujetos los extremos de los hilos estadimétricos, o bien, puede ser una placa transparente en la cual están grabadas rectas muy finas que sustituyen a los hilos estadimétricos. Este último caso es el más ventajoso, ya que, evitamos las roturas y/o dilataciones de los hilos.

Hay retículos de varias formas (fig. 1.15), el más sencillo es el de dos hilos en forma de cruz. En los anteojos usados para medir distancias se suelen usar retículos con mayor número de hilos como los retículos XIV, XV y XVI. Los retículos que tienen la forma del XIV ó XV reciben el nombre de micrométricos.

Algunos retículos especiales pueden ser, el retículo de Richer, el retículo de Troughton, el retículo de Salmoiraghi y el retículo de Porro.

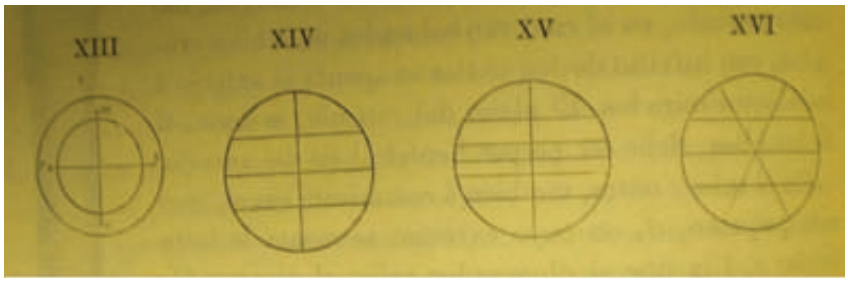


Figura 1.15: Retículos

Retículo de Richer

Este retículo es el más sencillo, ya que sólo consta del hilo central, que corresponde al eje óptico, que pasa por el centro de él con el vertical, y dos equidistantes al hilo central que determinan un ángulo diastimométrico correspondiente a 0,005.

Este retículo se suele usar con oculares Ramsden.

Retículo de Troughton

Se compone de cuatro hilos y el central, que, equidistantes dos a dos, corresponden a los ángulos estadimétricos 0,004 y 0,02.

Este retículo se suele usar con oculares Ramsden pero móviles.

Retículo de Salmoiraghi

Se compone de cinco hilos, y el hilo central no bisecta en partes iguales. Uno de los dos ángulos diastimométricos, el más pequeño, corresponde a la relación 0,004 y el otro, corresponde a la de 0,01.

Este retículo se suele usar con oculares fijos de tipo ortoscópico.

Retículo de Porro

El más complicado y perfeccionado de todos, ya que ofrece la posibilidad de usar tres relaciones diastimométricas distintas mediante quince hilos. Una de ellas es de 0,02, otra de 0,01 y la última de 0,004.

Este retículo se suele usar con oculares de tipo Argos, y sólo se encuentran montados en los clepes[1].

1.3.3. OBJETIVO

El objetivo del anteojo está compuesto por un conjunto de lentes, ya que si usamos una lente sencilla tendremos aberraciones de refracción y esfericidad. La primera, dependiente del índice de refracción, produce imágenes irisadas en los bordes, para solucionarlo se usan objetivos compuestos formados por la yuxtaposición de varias lentes, unas de *"crown-glass"* y otras de *"flint-glass"*. Suelen estar formadas en grupos de dos: una bicóncava y otra biconvexa, o de tres, bien dos cóncavo-convexas y una biconvexa, o dos biconvexas y una bicóncava.

En cuanto al inconveniente de la esfericidad, está relacionado con la nitidez de las imágenes. Esto se soluciona introduciendo en el anteojo un diafragma ennegrecido vaciado con un círculo de menor diámetro, de modo que no deja pasar los rayos que proceden de los bordes sino que sólo deja pasar los rayos centrales para que formen la imagen real.

1.3.4. OCULAR

El ocular es un tipo de lente usada en instrumentos ópticos, que se antepone al ojo del observador para ampliar la imagen del objetivo que éste observa.

HUYGENS-CAMPANI

Consta de dos lentes plano-convexas separadas y dispuestas de tal manera en el anteojo, que la imagen real dada por el objetivo caiga entre ellas. Con esta disposición (fig. 1.16) no llega a formarse esa imagen, sino que los rayos al refractarse en la primera lente producen otra, también real, que vista a través de la segunda lente se convierte en una virtual. El retículo queda entre las dos lentes en el plano de la imagen.

[1]Los clepes eran como los taquímetros pero en vez de llevar un limbo vertical llevaban una regla donde se medían los incrementos de altura respecto de la horizontal.

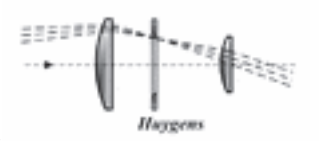


Figura 1.16: Ocular Huygens-Campani.

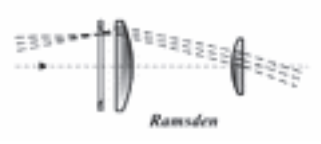


Figura 1.17: Ocular Ramsden.

Este tipo de oculares no se suele usar en topografía, acorta el anteojo a costa del aumento, se usan en microscopios.

RAMSDEN

Consta de dos lentes plano-convexas pero están dispuestas de forma que sus convexidades se den la cara (fig. 1.17), dejando la imagen real del objetivo y el retículo delante de las lente, es decir, fuera del sistema de lentes. Los rayos sufren una doble refracción y se produce una imagen virtual amplificada.

Este ocular es muy usado en topografía, ya que, amplifica más que el de Huygens-Campani pero da a los anteojos mayor longitud.

KELLNER

El ocular ortoscópico o de Kellner (fig. 1.18), consta de un sistema de dos lentes, una bi-convexa y sencilla y la otra compuesta de una como la anterior y otra bicóncava. En buenas condiciones, permite aumentar la amplificación en más de treinta aumentos.

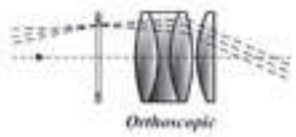


Figura 1.18: Ocular Kellner.

ARGOS

Conocido como ocular múltiple o Argos, se trata de un conjunto de oculares de modo que cada uno caiga frente a una parte de la imagen real del objetivo, así cada una de estas partes será vista sin deformación en la zona central del ocular correspondiente y ya no habrá que forzar la amplificación de ellos.

Reichenbach y Porro fueron los primeros en aplicar a los anteojos este tipo de ocular, del cual hay una simplificación que consiste en montar un solo ocular pero capaz de recibir movimiento, para situarlo frente a las diversas partes de la imagen a observar.

1.4. ALIDADAS

La alidada es un instrumento que determina la dirección de una recta , o mejor dicho, su proyección sobre un plano, con respecto a otra alineación fija en el mismo plano. Es, por tanto, un instrumento visual al que se le ha añadido una regla o índice que se mueven con él, de forma que cuando la visual está dirigida a la recta que se quiere determinar queda conocida la dirección de ella con respecto a otra alineación fija.

Este instrumento está formado por un anteojo astronómico, que es capaz de girar alrededor de un eje perpendicular a él, dicho eje está unido perpendicularmente a la regla o índice. La dirección en sentido vertical viene dada por un limbo fijo situado en el eje perpendicular del anteojo y que gira junto con el anteojo. Si el instrumento está en buenas condiciones, al apuntar el anteojo en una dirección cualquiera, la tendremos representada al pasar un lápiz por el bisel de la regla, además esa dirección estará en su verdadera magnitud.

En algunos instrumentos en los que la exactitud y el precio son escasos, se sustituye el anteojo por un prisma rectangular de madera en el que en cada base hay un orificio redondo y pequeño y otro rectangular con una cerda en el punto medio. Mirando por uno de los agujeros redondos, se trata de ir moviendo el instrumento hasta que la cerda opuesta cubra el punto, que con el ojo del observador y el centro del orificio fija la dirección que se quiere determinar.

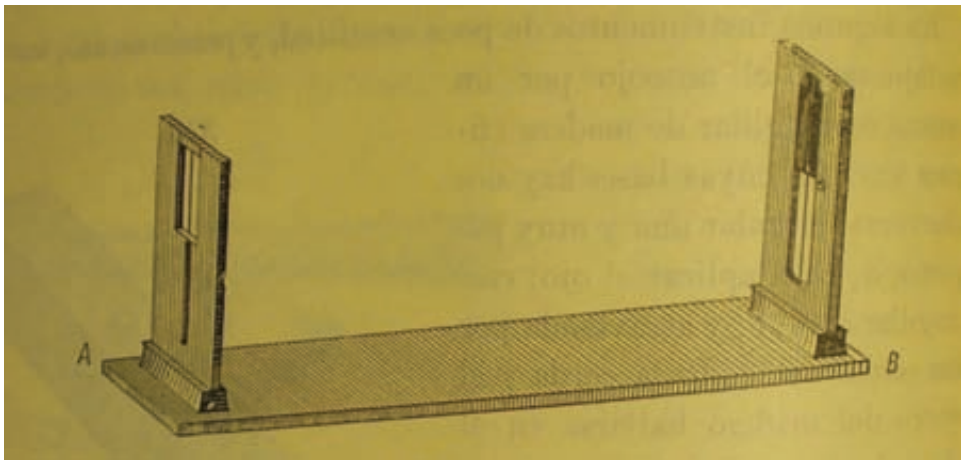


Figura 1.19: Alidada de pínulas

La alidada es uno de los instrumentos más antiguos, Herón de Alejandría ya lo describe 130 años antes de Jesucristo.

1.4.1. ALIDADA DE PÍNULAS (DE PRIMERA CATEGORÍA)

En estas alidadas se dirige la visual a simple vista (fig. 1.19). Se compone de una regla, AB, en la cual hay unidos dos bastidores perpendiculares a ella que tienen una ranura fina en cada uno y dos ventanas que son atravesadas, en su prolongación con la ranura, por una cerda. Para utilizarlo situaremos el ojo en una de las ranuras y moveremos la regla hasta que la cerda opuesta cubra el objeto deseado.

Existen otro tipo de alidadas de pínula, que, en vez de tener ranura tienen un pequeño orificio y en vez de ventana tienen una ranura fina. Este tipo es preferible al anterior, ya que, al ser un orificio pequeño el campo de la abertura ocular, el error cometido será menor que con las alidadas anteriores.

1.4.2. ALIDADA CIRCULAR (DE SEGUNDA CATEGORÍA)

Este tipo de alidadas constan de un círculo graduado, que actúa de limbo, y concéntrico a él se sitúa un disco cuyo radio es igual al de la circunferencia interior de los dos que forman la corona donde va grabado el limbo. Sobre el disco exterior hay, perpendicular a él, dos soportes, cuyos pies deben estar en línea recta con el centro de los discos; en ellos se apoya

un eje de rotación del anteojo, normal a los soportes, y por lo tanto paralelo al disco. Si cabeceamos el anteojo, describimos su eje óptico que es perpendicular al del disco y limbo. Así, si en un punto cualquiera del contorno del disco se establece un índice, la magnitud angular por éste recorrida en el limbo, medirá el ángulo deseado enfocándolo con el anteojo.

1.5. LIMBOS, NONIOS Y MICRÓMETROS

1.5.1. LIMBOS

Los limbos son unas placas metálicas (poco antes de 1936 pasan a ser de vidrio) circulares que disponen los instrumentos capacitados para evaluar ángulos, expresando su medida en grados, minutos y segundos. La placa metálica circular, está dividida en 360 ó 400 partes, según si la graduación es sexagesimal o centesimal, con trazos. Estos trazos tienen unos valores de intervalos diferentes según la precisión del instrumento, a mayor intervalo menor precisión. Hay limbos para los ángulos verticales (cenitales) y limbos para los ángulos horizontales (azimutales).

Cabe destacar que en esta época la graduación centesimal empieza a adaptarse a los trabajos topográficos gracias a los fabricantes italianos de instrumentos que trazan las marcas de los limbos en esta graduación.

1.5.2. NONIOS

Ideados por Pedro Nuñez, el nonio incrementa la precisión en la lectura.

El nonio no es más que una reglilla móvil, solidariamente unida al índice cero de lectura, y con su cero coincidente con él, de una longitud igual a (n-1) divisiones del limbo dividida en n partes. La reglilla desliza tangente al limbo y la lectura se realiza contando la primera coincidencia entre trazos de limbo y nonio.

1.5.3. MICRÓMETROS

Los micrómetros se encuentran en instrumentos muy precisos, en los que se prescinde de los nonios por tornillos micrométricos y sus correspondientes microscopios. Al igual que los nonios, el micrómetro ayuda en la lectura del limbo pero de manera más precisa que ellos.

Hay mucha variedad de micrómetros, pero el más sencillo es el de estima, que se basa en ampliar el limbo mediante el microscopio para que podamos leer a estima la división. Otro puede ser el micrómetro de tambor, ya más perfeccionado, que según el paso del tornillo micrométrico, el cual lleva una escala, tendremos nuestra lectura.

1.6. NIVELES

Los niveles sirven para colocar horizontalmente los limbos en los aparatos topográficos o, lo que es lo mismo, colocar verticalmente los ejes generales de rotación de las alidadas de ellos.

El nivel de aire (fig. 1.20) es un tubo cilíndrico de cristal en el que se introduce un líquido cualquiera y se sueldan los extremos, de modo que quede en su interior, además del líquido, una burbuja de aire. Esta burbuja de aire, al tener menos densidad que el líquido, tenderá a situarse, en cualquier situación que se de al tubo, a la parte más elevada.

Pero la sensibilidad del nivel es tan elevada que nos hace imposible usarlo, ya que, con cada leve movimiento la burbuja se trasladará a un extremo. Para evitar esto, se da a su pared interior la forma de un arco de circulo de radio muy grande, así la burbuja ocupará el punto más alto del tubo cuando esté calada y cuando tenga una inclinación recorrerá el arco del tubo que medirá la variación angular. El tubo tendrá divisiones marcadas en él llamadas “referencias”, simplemente sirven para saber si la burbuja se encuentra en el centro del tubo, es decir, si la burbuja está calada.

Para finalizar, el tubo está recubierto por una placa metálica excepto en la parte superior para que se vea la burbuja. El nivel ya reforzado, esta sujeto a la parte que queremos nivelar

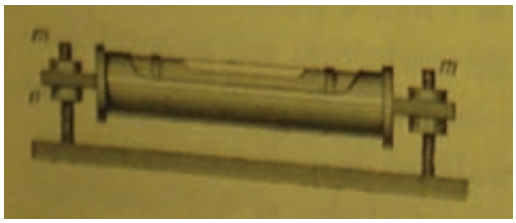


Figura 1.20: Nivel de aire

del instrumento por dos tornillos *(m)*, en los que se puede dejar el nivel en la posición que queramos aflojando o apretando esos tornillos.

Capítulo 2

ESCUADRAS

2.1. ESCUADRAS TOPOGRÁFICAS

Las escuadras topográficas o goniómetros de ángulo fijo son unos instrumentos usados para determinar sobre el terreno una alineación en ángulo recto con respecto a otra.

2.1.1. ESCUADRAS DE AGRIMENSOR

Las escuadras de agrimensor o de pínulas, ya usadas por los romanos, se componen de un cilindro (como el de la pantómetra, fig. 4.1), un prisma ochavado o un disco, dos sistemas de pínulas formadas sólo por ranuras, o por ranuras y cerdas, determinando dos planos perpendiculares entre sí, que se cortan según el eje de la escuadra, y, por tanto, las visuales que se creen tendrán sus proyecciones perpendiculares cuando el eje esté vertical.

Hay algunas que tienen un doble juego de pínulas, con lo cual no sólo se pueden determinar ángulos de 90º, sino que se pueden determinar ángulos de 45º también.

Las escuadras van montadas sobre un pie o, si queremos mayor precisión, sobre un trípode. Son las más adecuadas para los terrenos inclinados y con ellas podemos resolver tres tipos de mediciones o “problemas”. Uno de ellos es el levantar una perpendicular a una alineación recta desde un punto situado en ella, otro es bajar una perpendicular a una alineación recta

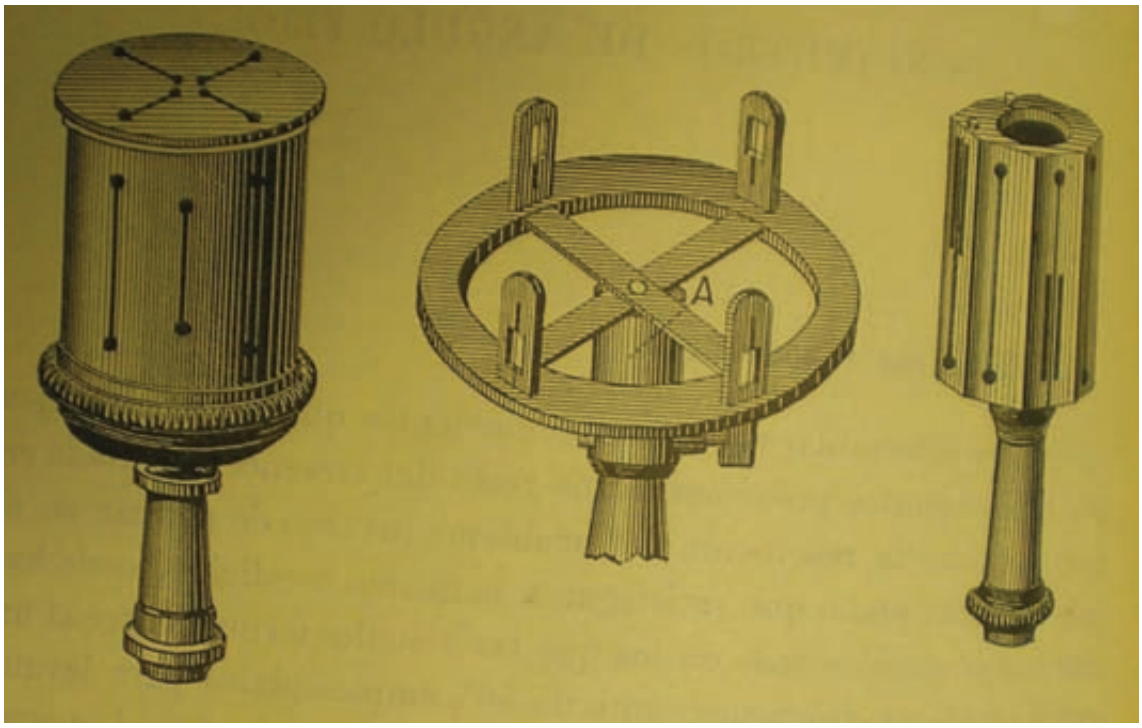


Figura 2.1: Diferentes escuadras de agrimensor

desde un punto exterior, y finalmente, formar un ángulo de 45º entre una alineación dada y una recta que pase por un punto exterior a la alineación o situado en ella.

Este tipo de escuadras, aún siendo las más usadas, son las que menos precisión ofrecen.

2.1.2. Escuadras de reflexión

De espejos

Esta escuadra se compone de dos espejos que están montados en una pieza metálica dispuesta de modo que los espejos formen un ángulo de 45º entre sí. Este ángulo se puede rectificar mediante un tornillo. La armadura metálica está abierta y encima de cada espejo podemos ver una ventanita por la que entran los rayos. En la parte inferior de la armadura metálica se encuentra un mango con una plomada para conseguir la vertical.

El fundamento de esta escuadra, es similar al de óptica de sextante, es el principio de la doble reflexión en espejos planos, este dice que si un rayo luminoso se refleja en dos espejos, permaneciendo en un plano perpendicular a ambos, el ángulo formado por el primer rayo incidente y el último reflejado es el doble del que forman los espejos entre sí.

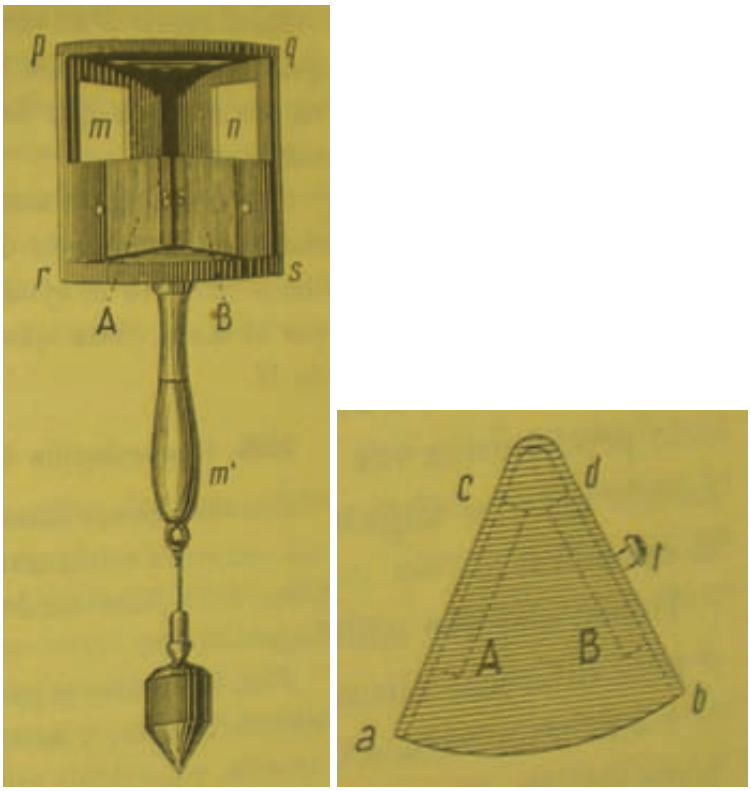


Figura 2.2: Alzado y planta de la escuadra de espejos

DE PRISMAS

Las escuadras de prismas se fundan en la misma teoría que las de espejos, la ventaja que estas ofrecen frente a las otras es que son más precisas al ser el ángulo formado entre sus espejos invariable. En cambio, el inconveniente que presentan es que no son adecuadas en terrenos no llanos, si necesitamos usar una escuadra para terrenos inclinados la más apropiada sería la escuadra de agrimensor.

Estas escuadras tienen unas dimensiones reducidas (2 ó 3 cm.), por lo que se pueden sostener en las manos mientras efectuamos la lectura aunque si queremos más precisión debemos estacionarla en algún bastón o pie. Las hay de de tres tipos según el prisma empleado para su construcción. Una de ella es la escuadra de prisma triangular que está compuesta por un prisma triangular, otra es la escuadra de Wollaston o de prisma cuadrangular que lleva también un prisma pero que dos de las caras de éste forman un ángulo recto y las otras dos forman entre sí un ángulo de 135º, y por último, tenemos la escuadra de prisma pentagonal, que fue la más usada de la época, que es una modificación de la anterior y en la que las caras del prisma forman un ángulo de 90º y otro de 45º.

Capítulo 3

TEODOLITOS

Los teodolitos son como unos goniómetros completos que tienen como componentes: una plataforma nivelante, una alidada azimutal, una alidada cenital, un anteojo (común a las dos alidadas), un limbo azimutal y otro cenital, niveles, y un sistema de tornillos de presión y coincidencia.

Estos se diferencian de los goniómetros completos en la precisión a la hora de medir los ángulos, ya que los teodolitos tienen mejores precisiones que los goniómetros.

3.1. EXCÉNTRICOS Y CONCÉNTRICOS. REPETIDORES Y REITERADORES

Como bien sabemos, un teodolito puede ser excéntrico o concéntrico y repetidor o reiterador.

Un teodolito es repetidor cuando dispone de tornillo para el movimiento lento, y es reiterador cuando dispone de tornillo de presión en el movimiento general del aparato.

Tendremos un teodolito excéntrico cuando el anteojo del mismo esté situado a un lado del instrumento, y concéntrico o de tránsito cuando el anteojo esté situado en el medio del instrumento. En esta época solían abundar los teodolitos excéntricos, ya que al ser el anteojo largo la vuelta de campana era más sencilla.

A continuación, nombraremos los teodolitos más representativos que se usaron en el siglo XIX.

3.1.1. Teodolito repetidor Troughton, con anteojo montado en collares

Si observamos la figura 3.1, podemos observar las partes del instrumento:

AA, anteojo montado en collares, *cc*, que abren o cierran unas clavijas, *dd*.

N, nivel que en unos teodolitos está colgado del anteojo y en otros montado sobre la regla *ss*, que sostiene los collares.

L, limbo fijo a la regla, giratorio con ella y el anteojo.

e, eje horizontal de rotación.

M, soportes del eje horizontal de rotación.

n, nonio vertical, único, montado sobre la chapa de los horizontales.

L', limbo horizontal.

l, placa de los nonios, con dos en los extremos de un diámetro, duplicidad común a todos los teodolitos.

N', niveles en cruz para la nivelación del instrumento.

PP_1, tornillos de presión y coincidencia para el movimiento general azimutal.

QQ_1 tornillos para la placa de los nonios.

o, lentes o microscopios para hacer las lecturas.

El limbo vertical lleva un sistema análogo al descrito para el limbo horizontal.

3.1.2. Teodolito Troughton, repetidor, de tránsito

Si observamos la figura 3.2, podemos observar las partes del instrumento:

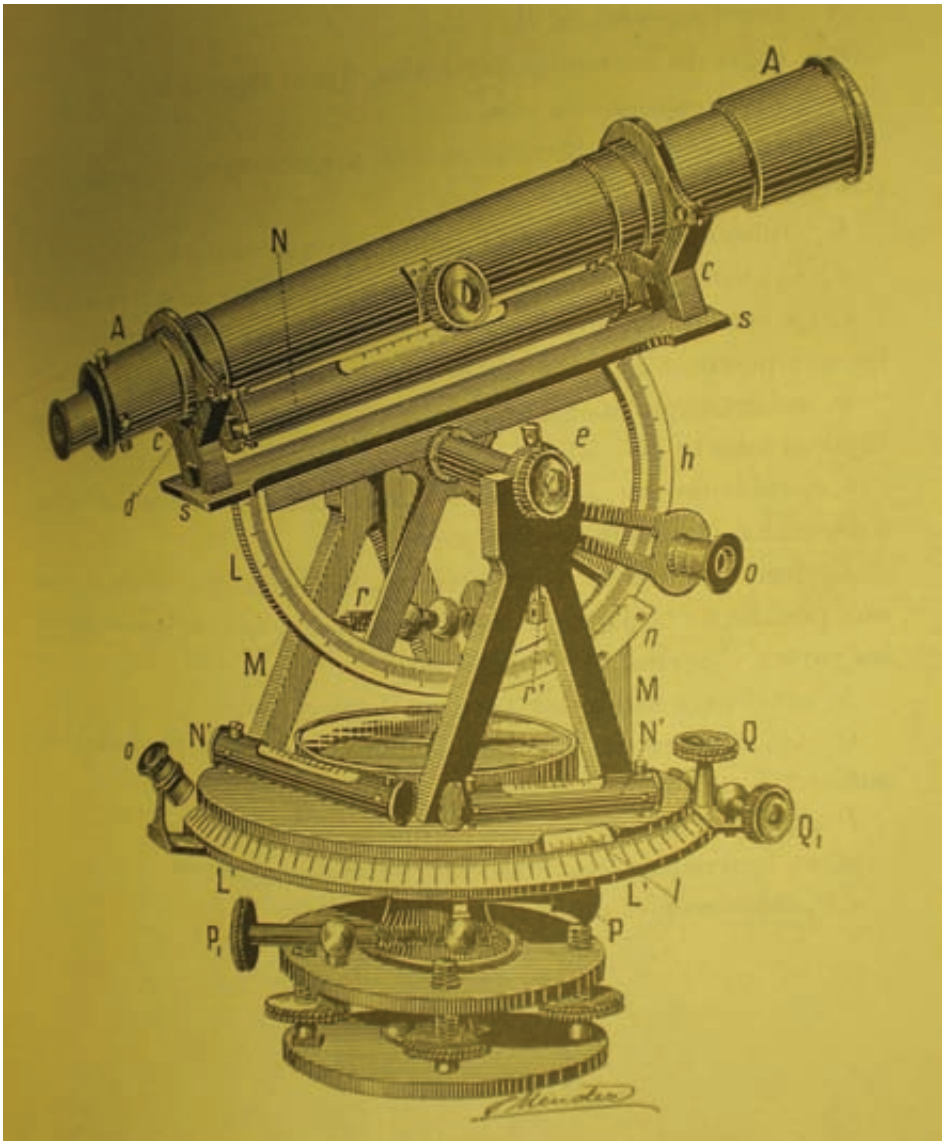


Figura 3.1: Teodolito repetidor Troughton

AA, anteojo.

N”, nivel del anteojo.

aa, regla de los nonios verticales, fija al soporte *M*.

N’, nivel de la regla de los nonios.

e, tornillo de rectificaciones que permite variar ligeramente la posición de la regla.

L_1, limbo giratorio con el anteojo, al que va unido.

TT_1, tornillos de presión y coincidencia del movimiento del limbo L_1.

e, eje común del anteojo y del limbo, que apoya en los montantes de los que puede salir, para verificar su inversión sobre ellos.

a, roldana que maniobrada con una palanquilla hace subir o bajar el asiento de *e* sobre *M*.

b, roldanas que, igualmente maniobradas, permiten que *e* corra a derecha o izquierda en el soporte.

L, limbo azimutal, para preservarle del polvo está recubierto por una pestaña de la placa de los nonios, apareciendo sólo descubiertas las partes *C* correspondientes a éstos.

N, nivel para establecer el eje general vertical.

QQ_1, sistema de tornillos de movimiento de la placa de los nonios.

PP_1, sistema de tornillos de movimiento del limbo.

m, agarraderos para imprimir el rápido general.

o, microscopios de lectura.

3.1.3. Teodolito repetidor, excéntrico, de Morin

Si observamos la figura 3.3, podemos observar las partes del instrumento:

AA, anteojo con prisma, *o*, de reflexión en el ocular para verificar con comodidad las punterías muy inclinadas.

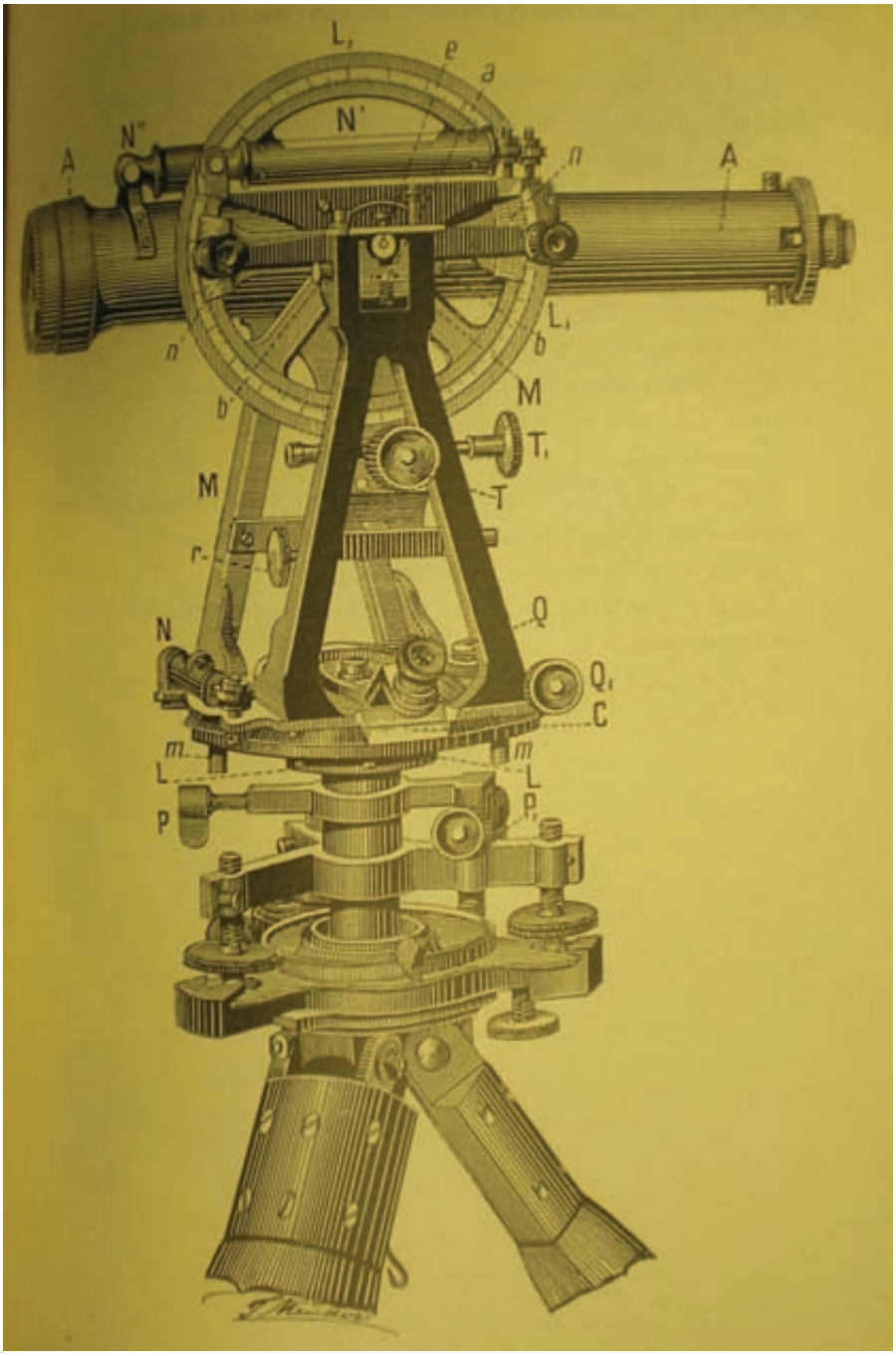


Figura 3.2: Teodolito Troughton de tránsito

E, eje de los movimientos verticales del anteojo y de la placa, l_1, de los nonios por él arrastrada.

S, soporte de dicho eje. Hay otro invisible en la figura, y ambos arrancan de la regla *R*.

L_1, limbo vertical fijo.

C, contrapeso en el extremo del eje.

H, columna hueca unida a la chapa de los nonios azimutales y sobre la cual está montada la regla *R* y el eje *E*.

L, limbo azimutal.

PP_1, QQ_1, TT_1, tornillos de presión y coincidencia, correspondientes a los dos movimientos azimutales y al vertical.

a, microscopios de lectura.

d, pantallas de cristal deslustrado para verificar las lecturas en buenas condiciones.

N, nivel para asegurar la verticalidad del eje.

B, brújula.

3.1.4. TEODOLITO TROUGHTON CONCÉNTRICO, REITERADOR

Análogo al teodolito Troughton, repetidor, de tránsito. Este lleva (fig. 3.4), además, un contrapeso, *C*, y le falta el nivel del anteojo pero, en cambio, lleva otro, *N*, para nivelar directamente el eje *e*. Por medio de un caballete, *RR*, se apoya en los extremos que sobresalen de los montantes el nivel *N*. Tiene también una linterna, *s*, para iluminar el retículo en las mediciones nocturnas. Se logra la iluminación mediante un reflector que envía su luz por el interior del eje *e*, hueco con ese fin, y al llegar al tubo del anteojo encuentra un prisma que la envía al retículo. Finalmente, como reiterador, no lleva tornillo para el movimiento general sino que lleva un tornillo de presión, *P*, faltando el de coincidencia.

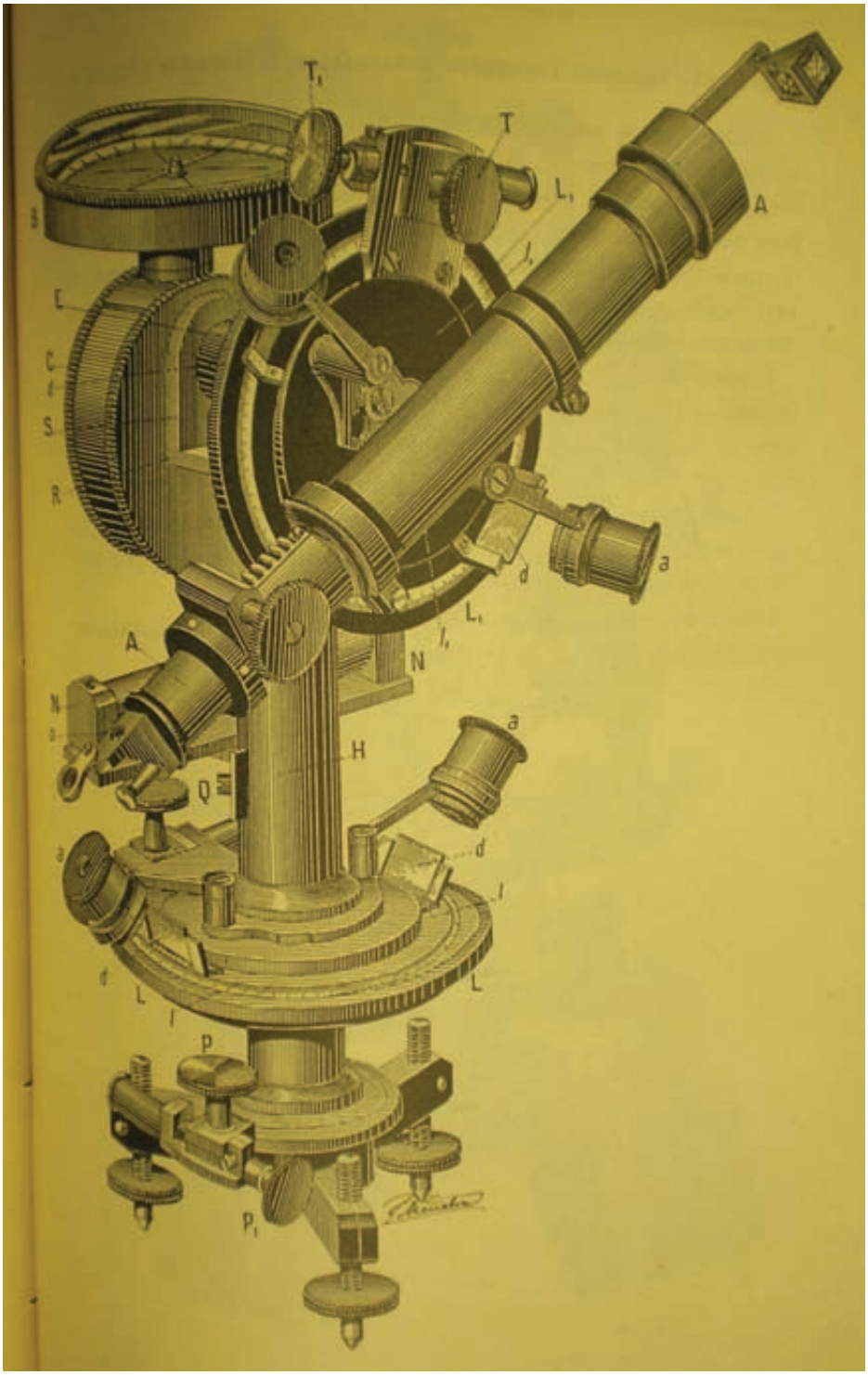


Figura 3.3: Teodolito repetidor de Morin

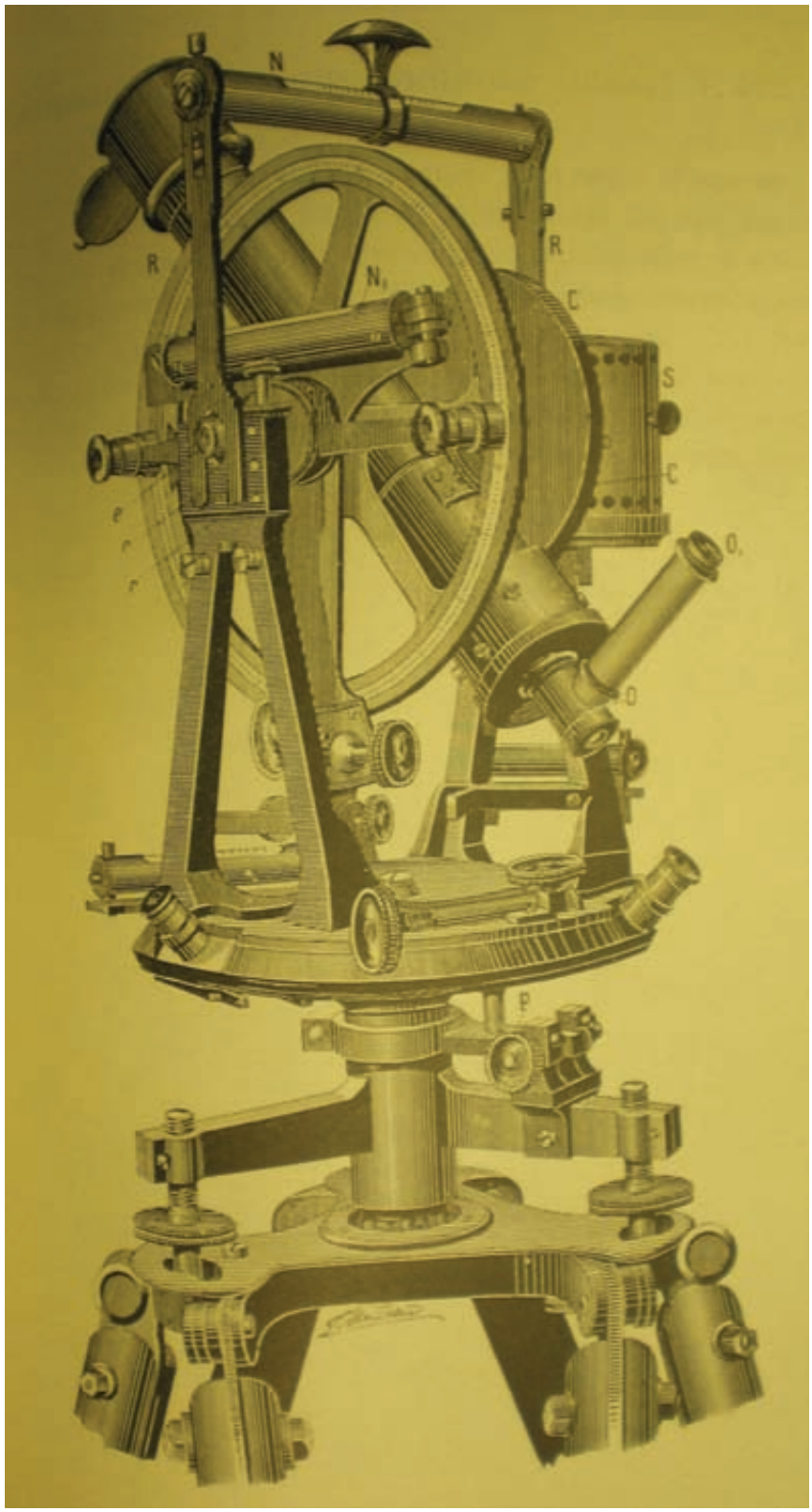


Figura 3.4: Teodolito Troughton concéntrico

3.1.5. TEODOLITO CONCÉNTRICO, REITERADOR, DE BREITHAUPT

Semejante al anterior (punto 3.1.4), su diferencia esencial, aparte de la disposición de los tornillos de corrección, es la de realizarse las lecturas azimutales mediante unos microscopios, *mm*, con tornillos micrométricos, *tt*, y tambor, *T*. Los microscopios van montados en un plano diametral por medio de la horquilla giratoria alrededor del eje general con el anteojo que sobre ella descansa.

Podemos observar este instrumento en la figura 3.5.

3.1.6. TEODOLITO EXCÉNTRICO, REITERADOR, DE BRUNNER

Si observamos la figura 3.6, podemos observar las partes del instrumento:

B, anteojo.

Z, limbo cenital.

P, placa de los nonios cenitales.

T″ t″, tornillos de movimiento de los nonios.

E, eje horizontal.

M, *ss*', regla y montantes que la sostienen.

N, nivel unido al limbo.

C, columna hueca donde se apoya la regla *M*, unida a la placa de los nonios azimutales, *P'*.

A, limbo azimutal plano, como la placa de los nonios, *P'*.

T't', tornillos del movimiento de la placa de los nonios con la columna el anteojo.

R, platillo invariablemente unido al limbo, donde se montan las mordazas, *mm*, de los tornillos de presión, *TT* (uno invisible en la figura), que, apretadas privan al limbo de movimiento, y sueltas, sólo le permiten tomar las lecturas rápidamente.

Q, contrapeso.

Además, lleva un tornillo de rectificaciones del eje horizontal, invisible en la figura.

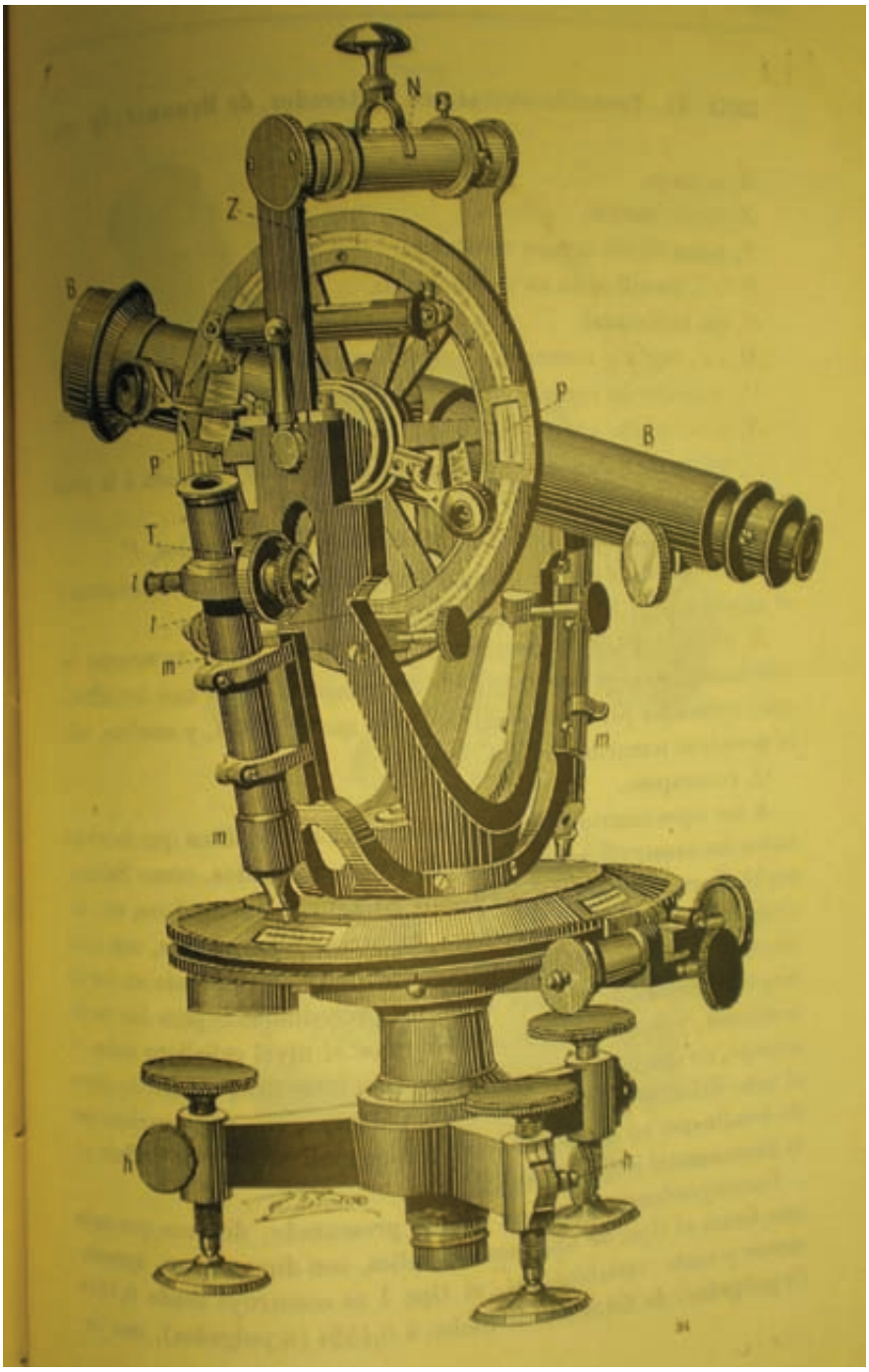


Figura 3.5: Teodolito concéntrico de Breithaupt

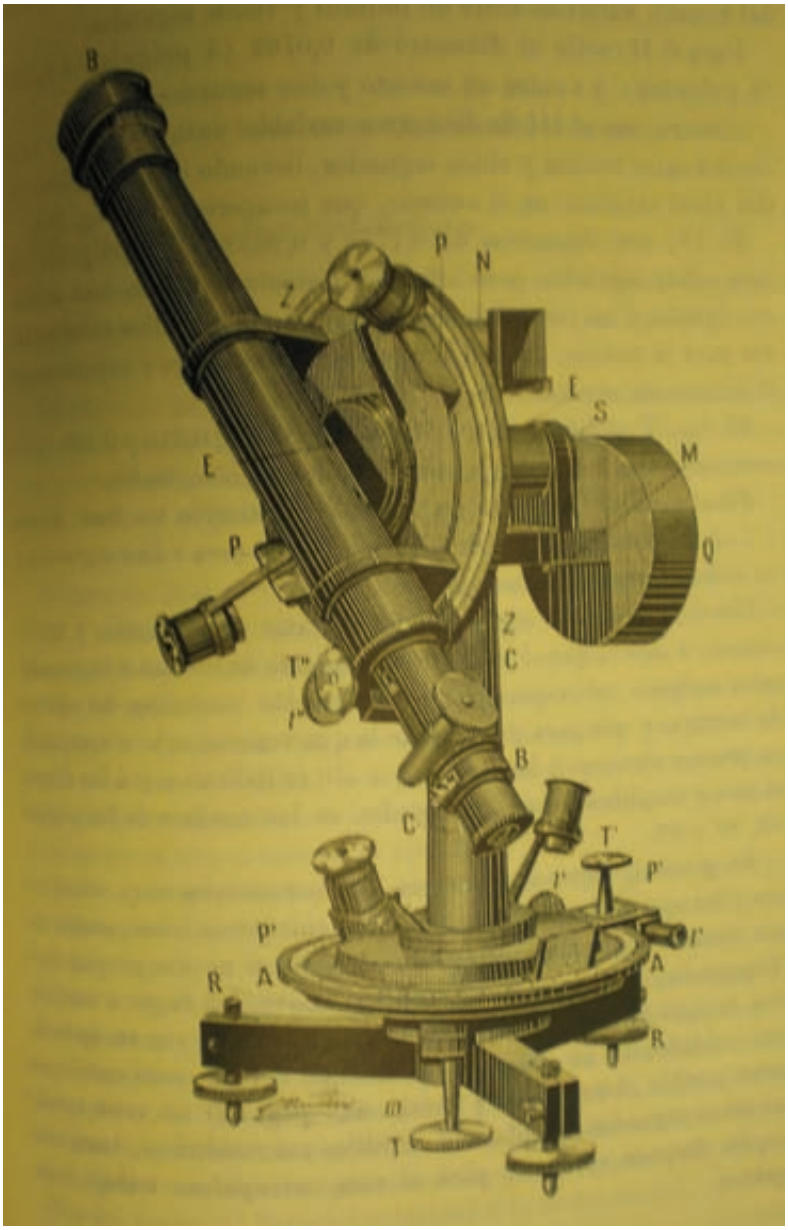


Figura 3.6: Teodolito excéntrico de Brunner

3.2. REDUCTORES Y AUTORREDUCTORES

Estos teodolitos tienen la particularidad de poder medir distancias reducidas en campo. Para ello, los hilos estadimétricos de sus retículos corresponden a una relación con el seno y el coseno de los ángulos. Hay muchos modelos de estos tipos de instrumentos pero aquí sólo describiremos aquellos que fueron los más importantes de la época.

3.2.1. REDUCTORES

En los teodolitos reductores es el operador el que hace la maniobra necesaria para que la lectura a la mira dé la distancia reducida.

REDUCTOR RONCAGLI-URBANI

Los ingenieros italianos Roncagli y Urbani, idearon este instrumento (fig. 3.7) en el que los hilos estadimétricos no se mueven, ya que normalmente los hilos en estos tipos de aparatos son móviles, permanecen fijos y trazados en un diafragma transparente. En este diafragma transparente van grabadas las curvas, correspondientes a los hilos estadimétricos, que responden a la ecuación: $y = cos^2\alpha$, siendo el rango de α desde 0º hasta 30º. Para obtener la distancia, multiplicaremos esa ecuación por un valor constante, que será la constante diastimométrica.

Para variar la posición de los hilos, el retículo está formado por dos partes, una es un hilo vertical fijo al tubo del ocular, y la otra es el diafragma, el cual puede girar mediante movimientos de traslación en dirección perpendicular al hilo vertical y al eje óptico. De esta manera, es capaz el instrumento de variar la posición de los hilos estadimétricos y obtener las distancias.

TANGENTÍMETROS

Estos instrumentos permiten medir tanto inclinaciones como distancias mediante la diferencia de las tangentes. Este requiere de dos visuales para dar la distancia reducida, al revés que

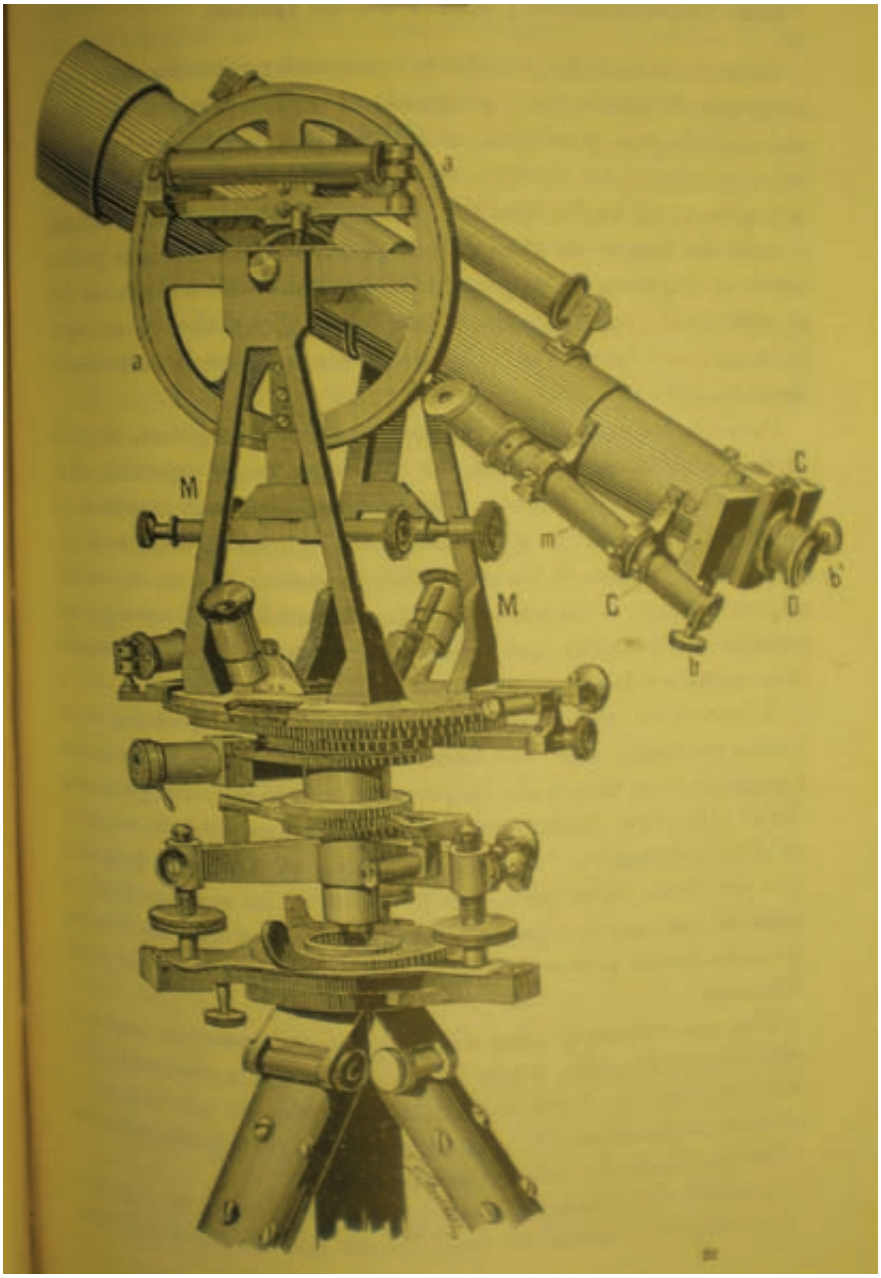


Figura 3.7: Reductor Roncagli-Urbani

los reductores y autorreductores propiamente dichos que sólo necesitan una.

La construcción del instrumento es la siguiente (fig. 3.8); el muñón *E* del eje de giro del anteojo, que se aloja en el soporte *S*, atraviesa una pieza *P*, a la cual se fija fuertemente el soporte *S*, de forma que cuando el eje óptico esté horizontal y el aparato preparado para funcionar, el brazo *A*, fundido en una sola pieza con *P*, quedará vertical. Este brazo termina en una horquilla *H*, en la que cada rama se divide en otras dos, *n*. A los pies del soporte hay dos paralelepípedos, *r*, atravesados por un tornillo, *t*, de longitud conocida, que cuando el instrumento está en situación de funcionar, está horizontal y perpendicular a *A* si el eje óptico está en posición horizontal. Alrededor de *t*, gira un disco *D* que está dividido en cien parte, y sus dos caras se encuentran en contacto, pero no fijas, con las horquillas *n*. Montada en los soportes, paralela al tornillo *t*, y tangente a la llanta del disco *d*, hay una escala, *m*, con el cero en el centro de su longitud y con divisiones crecientes a la derecha e izquierda del cero.

La lectura del tangentímetro dependerá del disco *d* y de la escala *m*, usándose el tornillo *t* como un micrómetro.

OMNÍMETRO DE ECKHOLD

Este instrumento es similar al tangentímetro, en construcción, teniendo ambos la misma finalidad, medir tanto inclinaciones como distancias mediante la diferencia de las tangentes con dos punterías. La pieza principal del instrumento es la misma que teníamos en el tangentímetro (fig. 3.8).

En este aparato, el anteojo astronómico y un microscopio, cuyos ejes ópticos son perpendiculares entre sí, están fundidos en una sola pieza o soldados el uno al otro. Cada uno de ellos es, además, perpendicular al plano determinado por el otro. El eje de rotación, común a ambos, está apoyado en los soportes *S*. así pues, el anteojo y el microscopio se montan con el eje de rotación apoyado por ambos extremos a los soportes de horquilla S, sustentados por una placa circular, en la que van montados los nonios, perpendicular al eje de la plataforma donde se apoya el aparato completo. Sobre el disco, y en la intersección de su

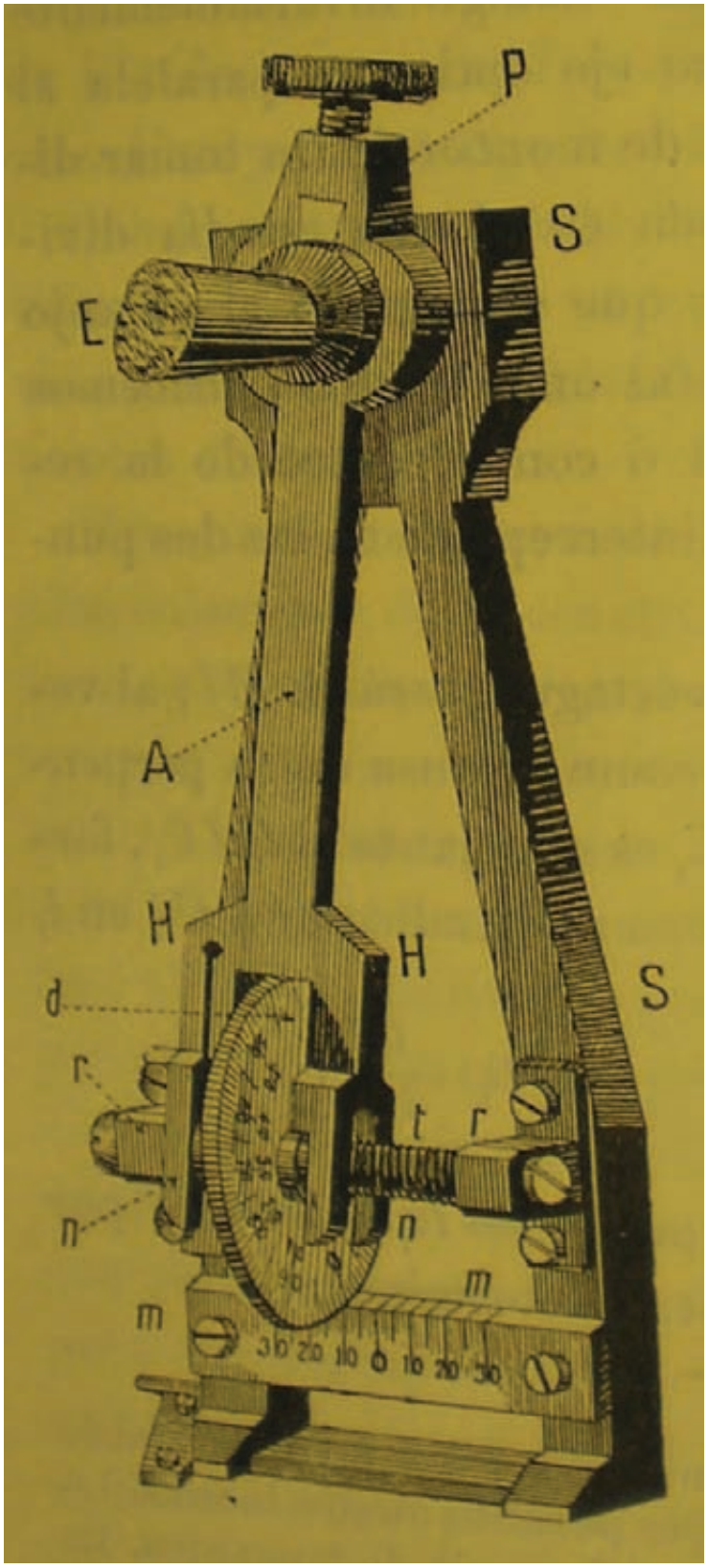


Figura 3.8: Mecanismo del tangentímetro

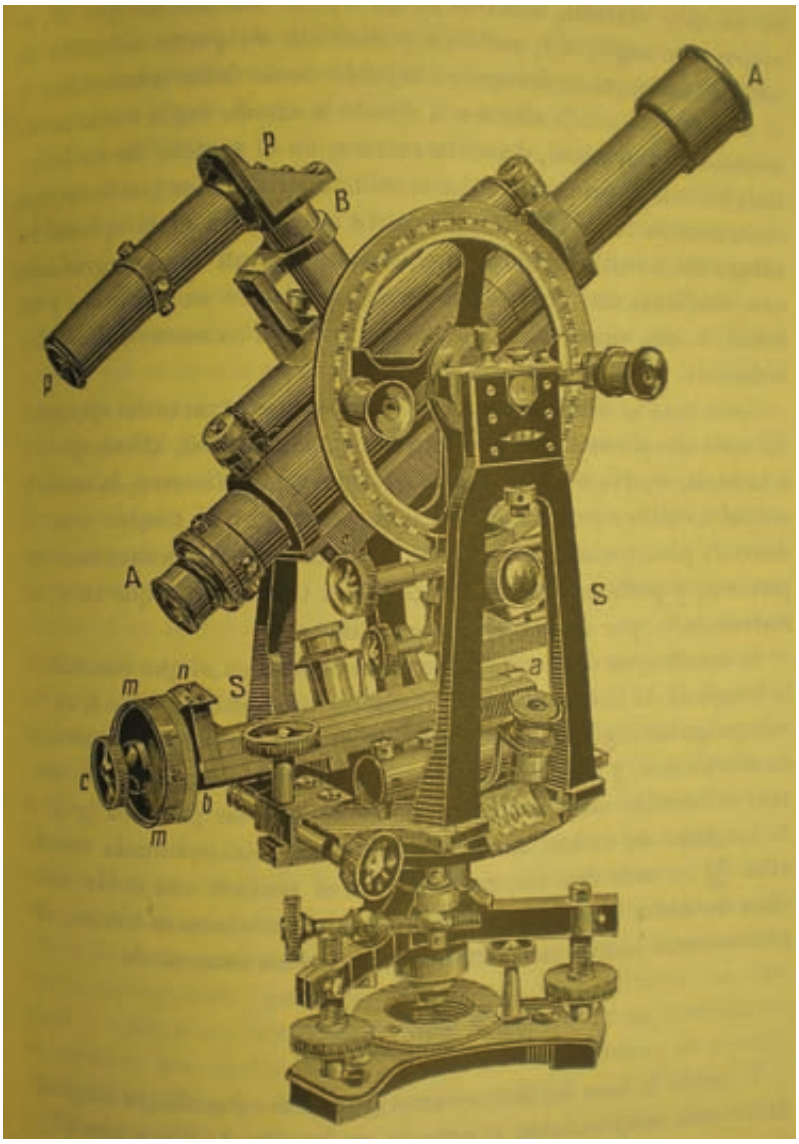


Figura 3.9: Tangentímetro

plano con el que describe el eje óptico del microscopio en su giro vertical, hay colocada una regla metálica, dividida en partes proporcionales. Esta regla puede girar mediante un tornillo micrométrico que la empuja. También lleva un tambor graduado dividido en cien partes y un nonio con cinco divisiones que ofrecen mayor precisión a la lectura.

La lectura de distancias se realiza mediante el microscopio, el tambor micrométrico, la regla y una mira.

TAQUÍMETRO CHARNOT

Se basa en las mismas ideas y el mismo principio del omnímetro. La diferencia existente entre ambos instrumentos es que el microscopio perpendicular al eje óptico está sustituido por un material rígido unido al anteojo. Además, en vez de ser el elemento variable las lecturas realizadas con el microscopio y el tambor del tornillo micrométrico en la regla horizontal y el fijo la separación entre las tablillas de la mira, en este instrumento se aprecia la constante en la regla y las variables son las lecturas realizadas en la mira.

Este instrumento (fig. 3.10) consta de una columna *H*, que está apoyada en la parte inferior del instrumento, y termina en su parte superior en una horquilla cuyas dos ramas están atravesadas por el eje, *O*, de rotación del anteojo. El anteojo se monta en unos collares, *C*, unidos con la regla, *B*, en una misma pieza. La regla *B* la encontramos en la parte superior del anteojo. A la pieza formada por la regla *B* y los collares *C*, están unidos el limbo *L*, que sirve para medir los ángulos de inclinación, y la biela metálica *l*, que en sentido de su longitud lleva vaciada una canal por donde puede correr una regla *f*. Esta regla *f* termina en el extremo inferior de un botón *a* y está articulada al carretoncillo *G,* que por medio de unas pestañas puede resbalar a lo largo de una regla *E*. En los bordes de la canal de la biela *l* y de la regla *f*, están grabados una escala y un nonio para medir los resbalamientos de la regla *f* a lo largo de la biela *l*. Análogamente, otra escala, *e*, en *E*, y un nonio, *n*, en *G*, miden los del carretón sobre la regla horizontal. Los tornillos de aproximación y coincidencia, que permiten fijar o librar el carretón *G,* corresponden a las letras *b*, *b'*, *c* y *g*.

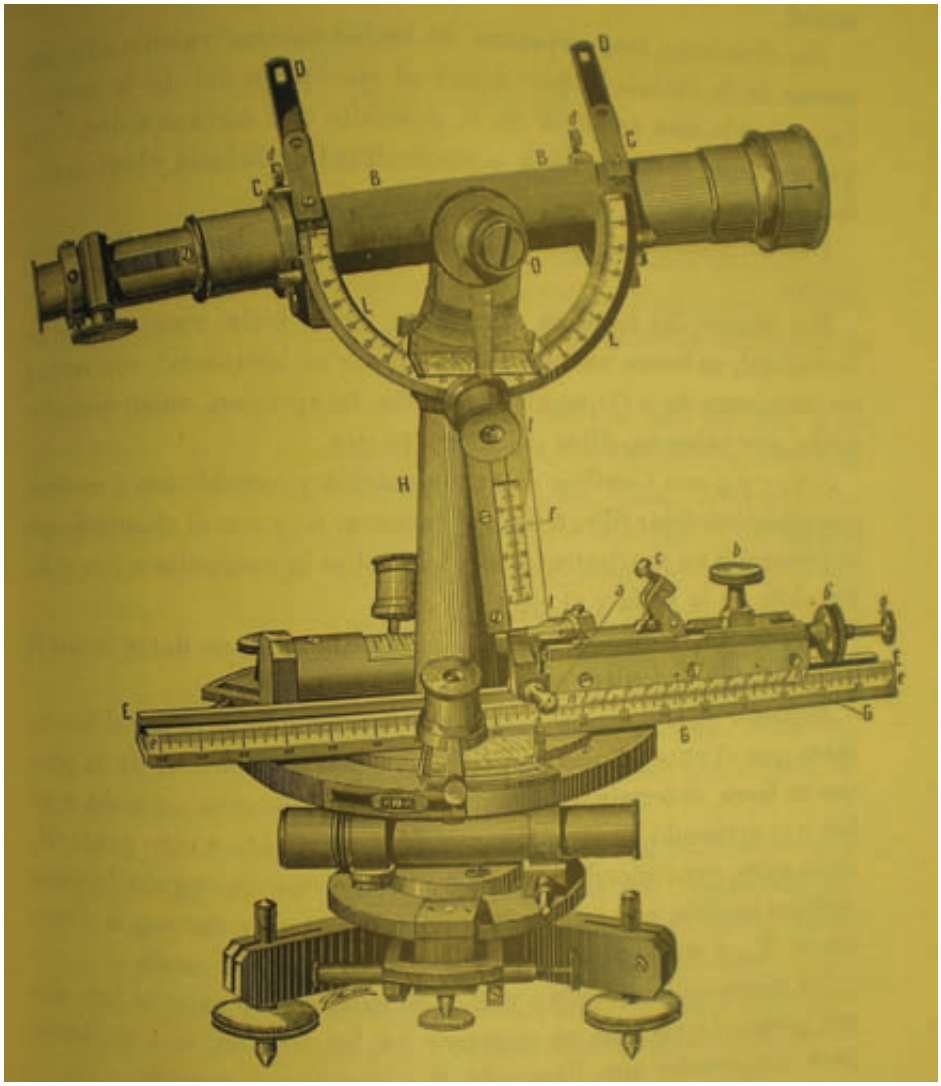


Figura 3.10: Taquímetro Charnot

3.2.2. AUTORREDUCTORES

En los teodolitos autorreductores el instrumento realiza la maniobra, automáticamente, de dar la distancia reducida. La condición para que un teodolito sea autorreductor es que sus hilos estadimétricos se correspondan con esta ecuación: $2tg\frac{1}{2}\beta = cos^2\alpha$.

AUTORREDUCTOR BAGGI.

Considerado una de los mejores autorreductores de la época, aunque cabe decir que fue entonces cuando empezaron a comercializarse, y también el más sencillo. No está equipado ni con engranajes, ni con bielas, ni con tornillos micrométricos.

En este instrumento (fig. 3.11) la variación de los hilos, se da gracias a un manguito que se hace resbalar a lo largo del anteojo, al cual envuelve, y recorre longitudes iguales a (1-$cos^2\alpha$), multiplicando por un factor constante, siendo α el ángulo que el anteojo haya girado. En el ocular, el manguito termina en dos piezas inclinadas que se apoyan en los bastidores donde se montan los hilos móviles superior e inferior, siendo éstos equidistantes del hilo central, y oprimiéndolos más o menos, según las piezas avancen o retrocedan, producen mayores o menores aproximaciones de los hilos.

AUTORREDUCTOR SANGUET

Se basa en el método de Bárcena.

El instrumento (fig. 3.12) se compone de una regla metálica, *AB*, con dos pínulas, *C* y *D*, perpendiculares a ella en sus extremos. La pínula *C* acaba en una horquilla donde se apoyan los cojinetes del eje de giro del anteojo *E,* y en la otra pínula, *D*, hay grabada una escala de pendientes a lo largo de la que puede subir y bajar la parte del anteojo cercana al ocular. En este movimiento, se arrastra un nonio, *n*, que con el anteojo queda inmovilizado con el tornillo de presión, *p*. Si soltamos el tornillo *p*, el anteojo puede inclinarse girando alrededor del eje montado en la pínula más pequeña, y si lo fijamos, se puede realizar el movimiento lento mediante el tornillo de aproximación, *p'*.

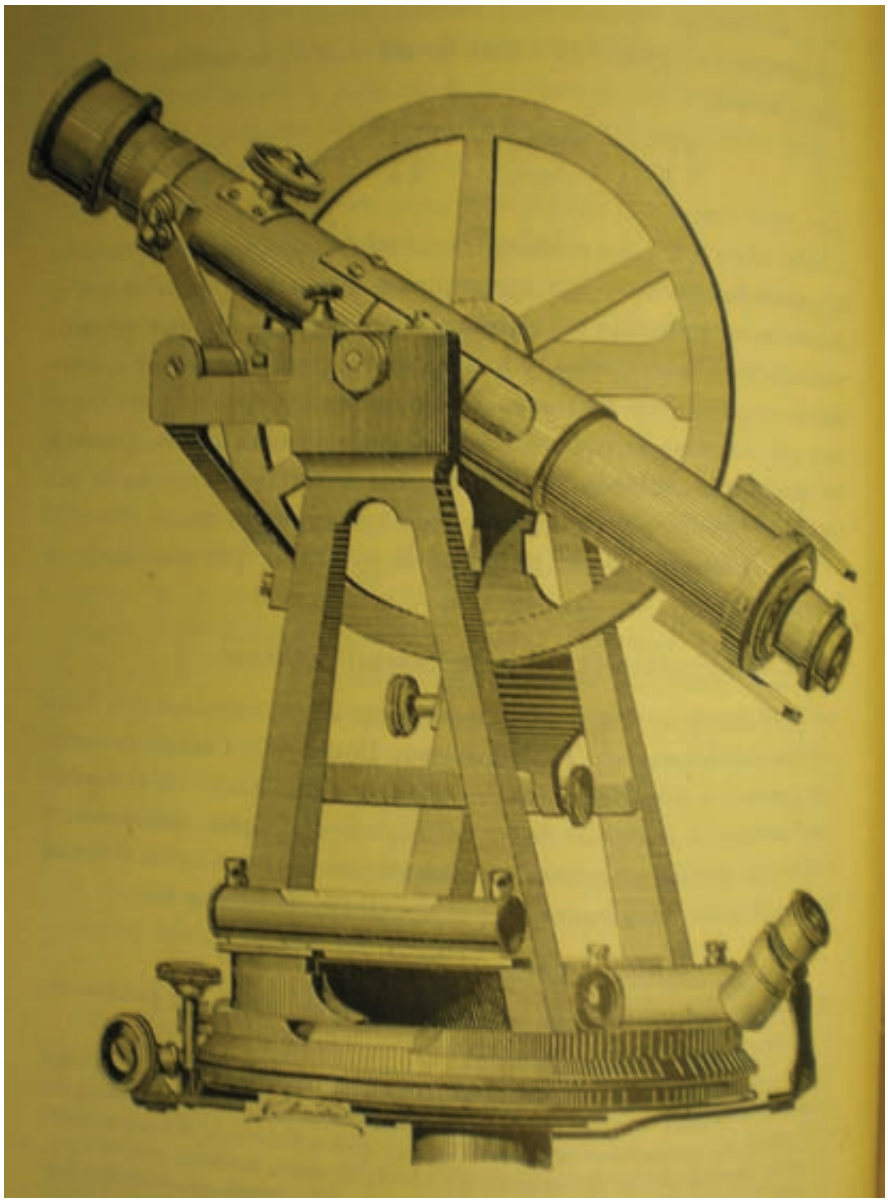


Figura 3.11: Autorreductor Baggi

Cuando el nonio señala el cero de la escala el eje óptico está horizontal.

Para bajar y subir el anteojo y el nonio podemos ayudarnos de una palanca, con la manivela *M* y el punto de apoyo en la pínula más grande, a lo largo de la escala. Los cuatro topes numerados (*1*, *2*, *3* y *4*), distribuidos a diferentes alturas en la pínula menor, proporcionan el límite de la palanca, y por tanto, del eje óptico.

Los ángulos que forman entre sí estas cuatro posiciones son siempre los mismos, así si dirigimos el anteojo a una mira vertical situada a un metro del eje de giro del anteojo, los espacios comprendidos entre las lecturas hechas en cada una de las posiciones, y en grupos de dos en dos, determinarán con la distancia de un metro relaciones constantes que servirán para obtener la distancia reducida al horizonte.

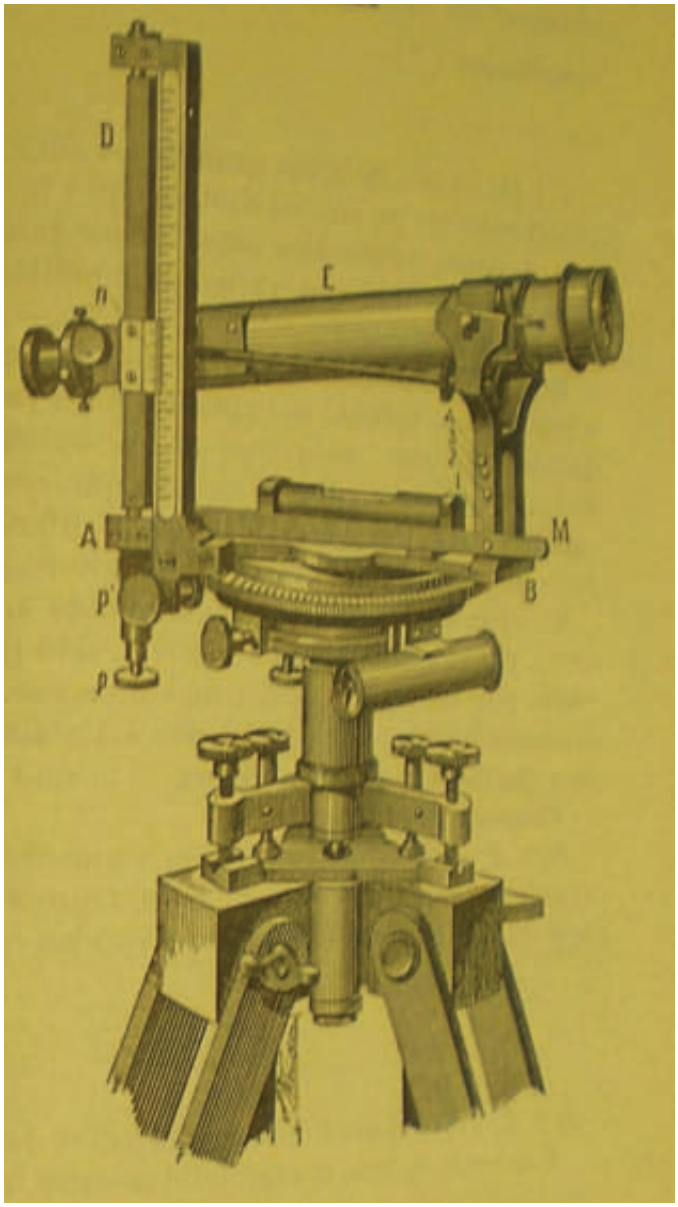


Figura 3.12: Autorreductor Sanguet

Capítulo 4

PANTÓMETRAS

Una pantómetra es un instrumento de precisión media o baja capaz de medir el ángulo, horizontal o vertical, formado por dos visuales cifrando el resultado.

Una pantómetra, se parece a un goniómetro completo, en que ambos constan de dos alidadas, normalmente circulares, montadas en ejes perpendiculares, siendo común a ambas el anteojo.

4.1. PANTÓMETRA

La pantómetra (fig. 4.1) es un goniómetro reducido a sus elementos indispensables. Consta de dos cilindros huecos, *m* y *m'*, metálicos del mismo diámetro que están unidos. Por el cilindro inferior, *m*, se unen los cilindros, gracias a una esfera *r*, a una rodilla de nuez que con un tornillo oprime la esfera para inmovilizar el instrumento. En el interior del cilindro superior, *m'*, hay una cremallera circular que engrana en un piñón movido por el tornillo *t*, así cuando el tornillo gira también lo hace el cilindro superior quedando el inferior inmóvil. En los dos cilindros hay pínulas, *k* y *k'*, que se corresponden con aberturas finas o cerdas situadas en el otro extremo del plano diametral determinado por cada una. En prolongación a la pínula, *k*, del cilindro inferior hay grabada una graduación, *ab*, junto al borde que hace las veces de limbo, y en prolongación a la pínula del cilindro superior, *k'*, enrasado a él se encuentra el nonio, *n*. La graduación y el nonio suelen crecer de izquierda a derecha, además el limbo está dividido en grados teniendo el nonio treinta divisiones, con lo cual la

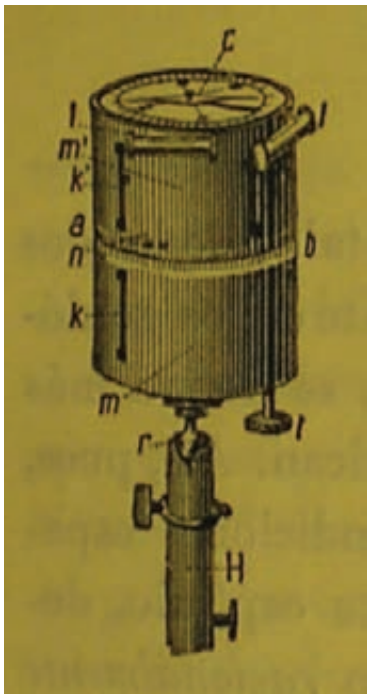


Figura 4.1: Pantómetra

apreciación de las lecturas es de dos minutos. Suele haber, también, otro nonio igual al nonio *n* debajo de la abertura opuesta a la pínula *k'* cuyo cero está en el extremo del diámetro que por el de éste pasa. Como accesorios suelen llevar niveles de aire, *l,* y brújulas.

Este instrumento se puede utilizar para trazar perpendiculares, medir rumbos si lleva brújula y para medir ángulos, que es su principal cometida.

Para poder medir un ángulo con la pantómetra, primero debemos estacionar en el vértice y mediante las pínulas del cilindro inferior dirigimos la visual al punto en el sentido que crece la graduación, de modo que se nos quede la graduación 0-180º en el lado del ángulo que queramos medir. Inmovilizamos el cilindro inferior y movemos el superior mediante el tornillo *t* y visamos el punto deseado.

4.2. PANTÓMETRA PERFECCIONADA

La pantómetra perfeccionada (fig. 4.2) es más precisa que la pantómetra general. La visual se puede dirigir, o bien por las pínulas, o bien por el anteojo *AB* cuyo eje óptico se halla en el plano vertical que pasa por la recta de unión de los ceros de los dos nonios. El anteojo tiene

un sistema de tornillos de precisión y coincidencia *P* que permite establecer y fijar el anteojo, formando cualquier ángulo con la horizontal. Este mecanismo se usa para medir por medio de un nonio, en un arco de limbo, *L*, los ángulos de inclinación. El nonio *M* está unido al anteojo, de manera que si el anteojo se mueve el nonio se mueve con él, así forman una alidada de eje horizontal. El anteojo tiene un nivel, *N',* para comprobar su horizontalidad. También existe un nivel, *N*, encima de los cilindros para colocar horizontalmente el instrumento.

La pantómetra se monta, usualmente, en un trípode de plataforma, sobre el que se coloca una plataforma nivelante para hacer la unión con el instrumento y que se usa como sistema de tornillos de presión y ajuste *P'*, por medio de los cuales todo el instrumento gira, lenta o rápidamente, o se detiene.

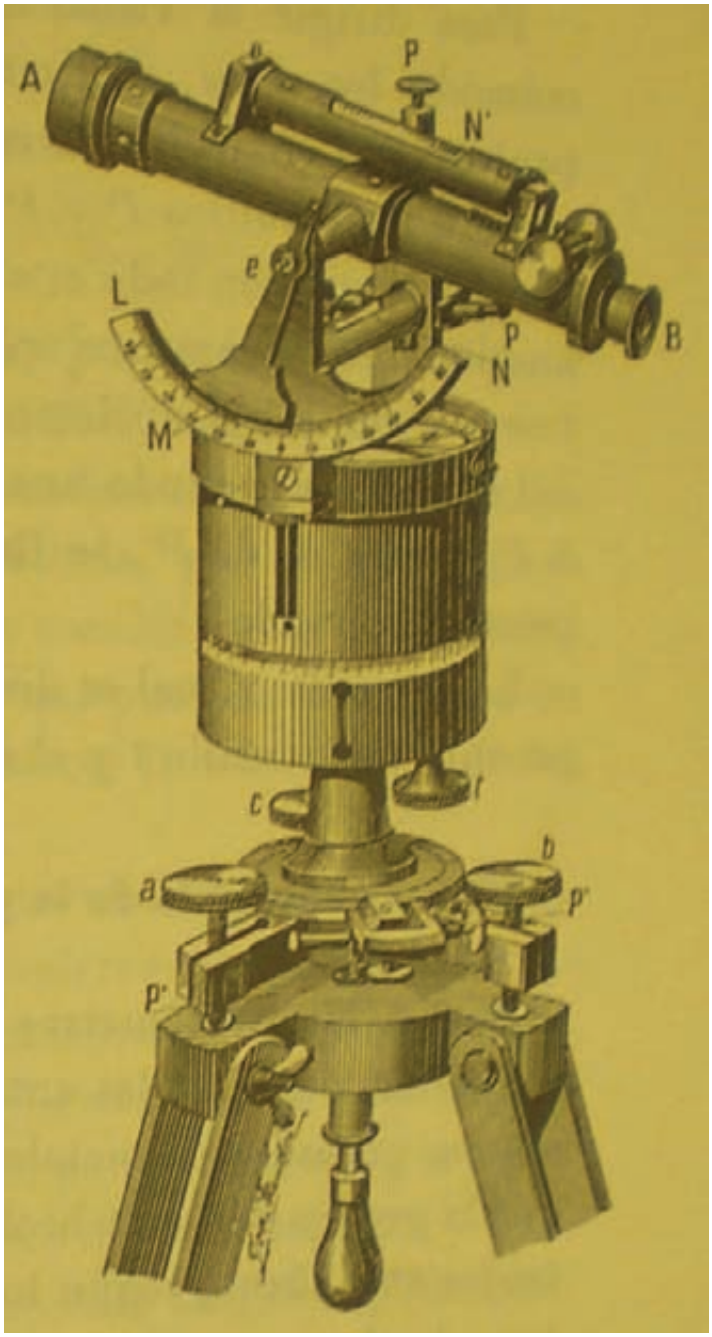


Figura 4.2: Pantómetra perfeccionada

Capítulo 5

GONIÓGRAFOS

5.1. PLANCHETAS

La plancheta sirve para dibujar el plano o mapa directamente en el terreno. Se trata de un tablero de dibujo que se sujeta al trípode por una rodilla o una plataforma nivelante, y que está orientado al Norte. Además, lleva una alidada para determinar las direcciones o en algunas más modernas podemos encontrar teodolitos autorreductores. La plancheta tendrá un movimiento de traslación, para colocarla perfectamente vertical en cualquier punto respecto al tablero, y otro de rotación, para girar el dibujo a la dirección deseada.

PLANCHETA DE STARKE

Tanto esta plancheta como la plancheta Goulier, son las usadas para operaciones cuidadosas y que precisen precisión.

En una plataforma nivelante, *a*, (fig. 5.1) sus tornillos, *b*, se apoyan en la meseta del trípode. Del centro de la plataforma nivelante sale un eje *e*, en el que encajamos una columna hueca, *h*, con la cual se forma una sola pieza. De la columna *h* salen tres brazos, *d*, que en sus extremos tienen forma circular, *m*, y por los cuales atraviesan el orificio, *o,* unos tornillos de rosca, *t*. Estos tornillos son los que unen la plataforma nivelante y el trípode al tablero de dibujo de la plancheta. Con esta unión, podemos llevar a cabo todos los movimientos

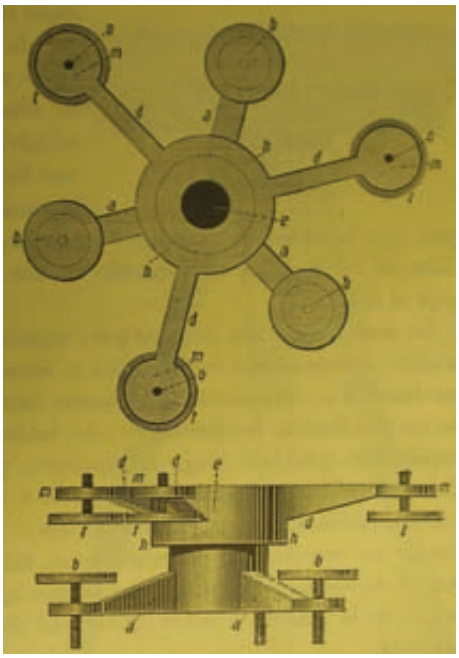


Figura 5.1: Plancheta Starke

necesarios para situar el tablero en la posición deseada mediante tornillos de movimiento.

PLANCHETA DE GOULIER

Esta plancheta fue ideada por el coronel de Ingenieros francés, Goulier. En comparación a la plancheta Starke, esta plancheta es menos pesada y voluminosa, y sumamente sencilla y cómoda.

El aparato de unión (fig. 5.2), con el cual se consiguen todos los movimientos, se compone de un disco de madera, *T*, agujereado en *a,* como se puede ver en la figura. El disco *T* está unido a otro más pequeño, *t*, que lleva un casquete esférico, cóncavo y metálico, *m*, de cuyo centro sale una vara hueca, también metálica. En la vara metálica se acopla un vástago que atraviesa el disco pequeño, *t*, y termina en la parte superior de él, uniéndose a una guía *cc'* a la que se une el tablero de dibujo y puede desplazarse a través de esa guía.

PLANCHETA LIGERA

Esta plancheta (fig. 5.3) se usa en trabajos en los que no se exige mucha precisión, ya que, se elimina el movimiento de traslación, la vertical del punto se pondrá a ojo con el trípode.

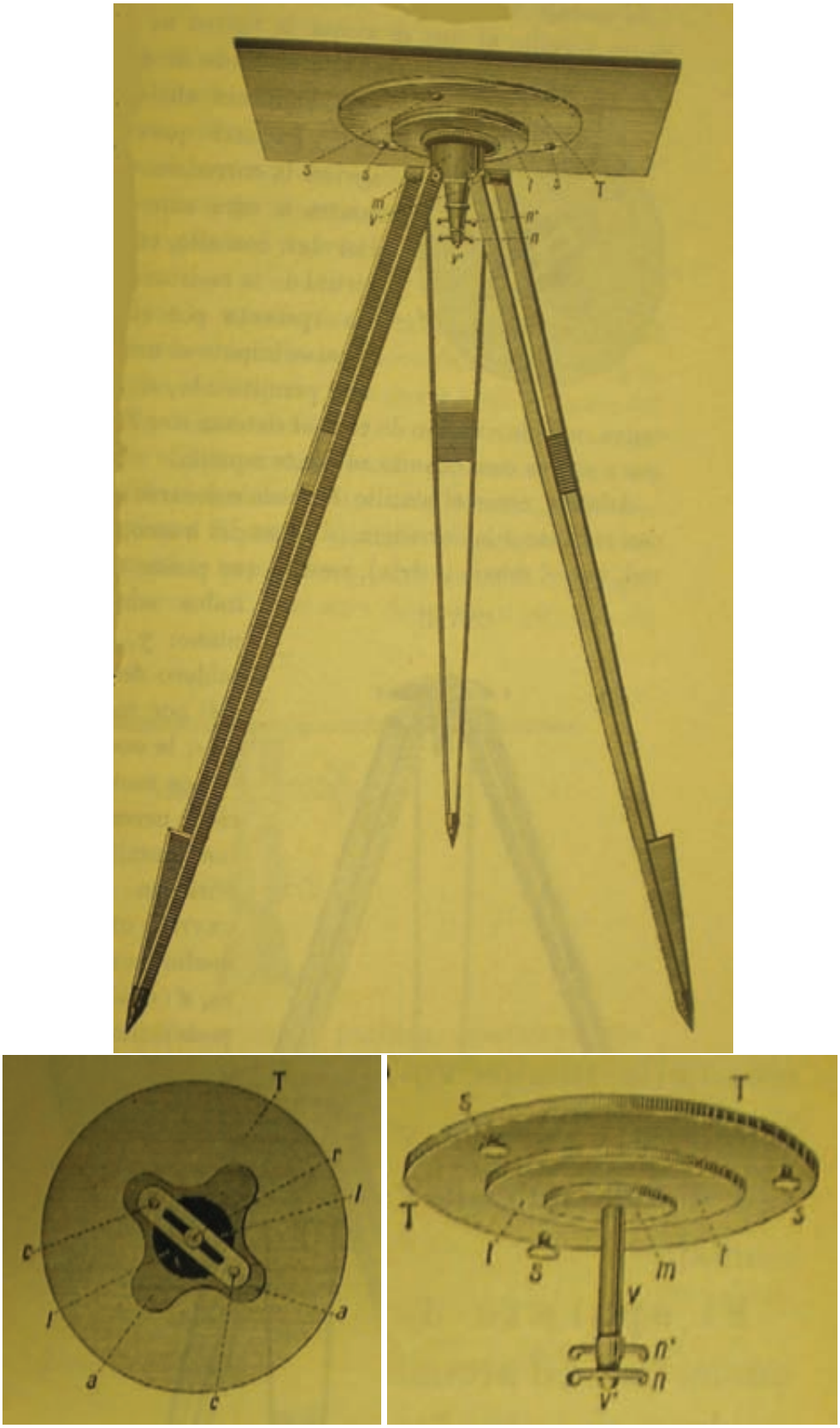


Figura 5.2: Plancheta Goulier

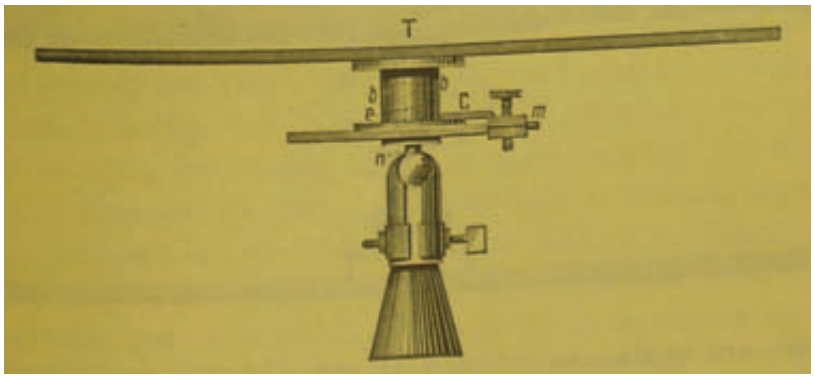


Figura 5.3: Plancheta ligera

En este tipo de planchetas la unión al trípode se hará con una rodilla (con una de nuez por ejemplo), *n*, de la cual sale un eje interior, *e*, con el que se une el platillo *p*. En el eje se acopla una columna hueca, *b*, unida al tablero *T*, la cual tiene un brazo (rabera), *C*, donde se encuentra un tornillo de presión y una mordaza, *m*, que permiten o impiden el giro del tablero *T* con la columna *b* alrededor del eje del instrumento.

Para saber si la plancheta está nivelada, ya que prescinde de niveles, pondremos un lápiz redondo o una bolita, y si en dos direcciones no se mueve está nivelado.

5.2. ALIDADAS

Para completar la plancheta, se coloca en el tablero, una alidada. En las planchetas ligeras lo más usual es colocar una alidada de pínulas o las de anteojo, que son las más sencillas; pero en las planchetas de Starke y de Goulier, o de cualquier otra que tenga un mínimo de precisión, se ponen las alidadas más perfeccionadas.

Las alidadas que hemos llamado perfeccionadas (fig. 5.4) tienen como elementos comunes: una regla metálica, *BB*, biselada en uno de sus bordes donde hay grabada una escala; una columna, *H*, perpendicular a la regla, que la une con el anteojo astronómico *AA* , cuya inclinación puede variar por medio de unos tornillos *t* de sujeción, que sirven para corregir las rectificaciones. Lleva un collar *C* que sujeta y abraza el anteojo *AA*, éstos giran alrededor del eje perpendicular a la columna *H*, haciendo un movimiento en el que se dirigen las visuales con diversa inclinación, para detenerlo apretaremos el tornillo *m*. Cuando el anteojo *AA* se

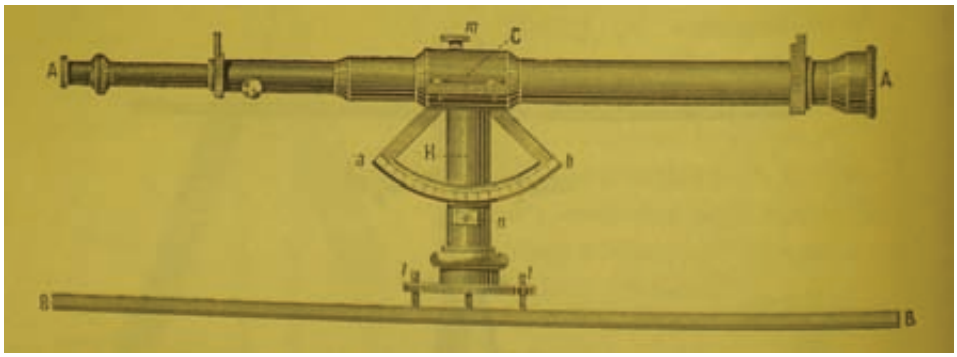


Figura 5.4: Alidada perfeccionada

mueve también se mueve con él el limbo vertical *ab*, y un nonio *n* que está fijo en *H*.

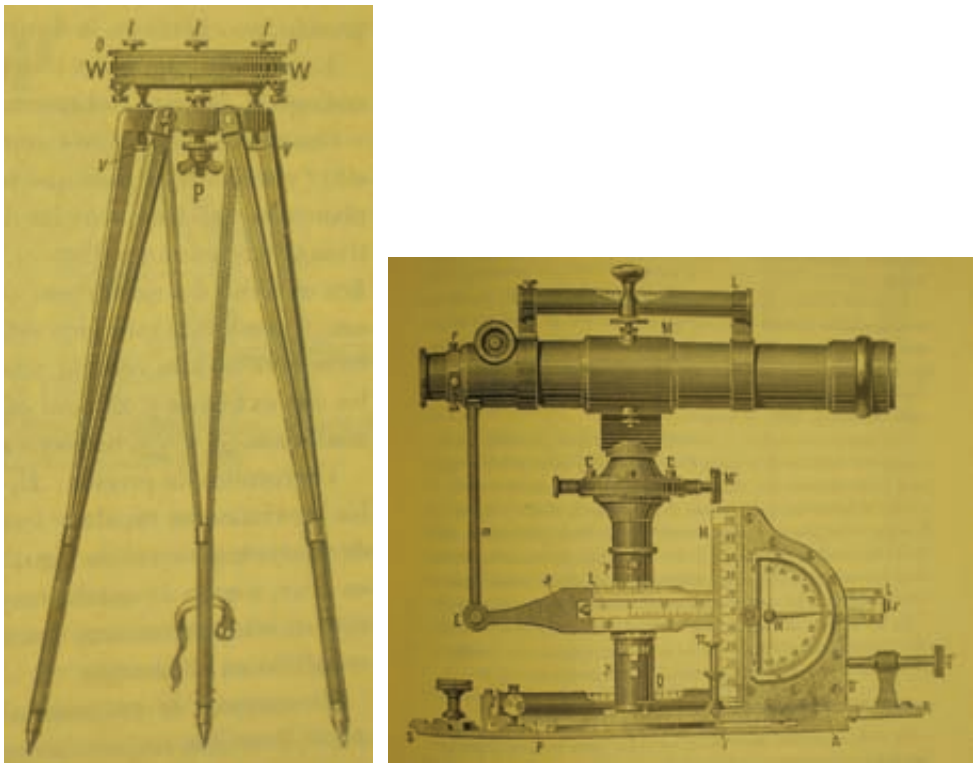
Capítulo 6

GRAFO-GONIÓMETROS

6.1. PLANCHETA GRAFO-NUMÉRICA DE VOTTI

Éste no es un instrumento de precisión sino que da rápidos y buenos resultados en trabajos de precisiones medianas. Pertenece al grupo de los anteojos con aparatos de proyección y su función es dar la distancia horizontal desde el centro del tablero al punto del terreno donde se encuentra la mira, así como la altura de dicho punto sobre el de estación del instrumento sin necesidad de medir la altura del instrumento ni la de la mira.

Consta de un tablero circular, de una alidada con anteojo analático (fig. 6.1a), y de una o más miras especiales para éste instrumento. La plancheta se sostiene mediante un trípode normal, en el que se logra la sujeción mediante el tornillo *P*, que si lo aflojamos permite movimientos de rotación a la plancheta sobre tres tornillos, *V*, que sirven para nivelar el tablero. Como limbo, el tablero lleva un aro circular metálico *oo* que se sujeta al tablero mediante los tornillos *W*, que aflojándolos permiten introducir la hoja de dibujo y cuando se aprietan la hoja queda perfectamente sujeta. Los tornillos *t* sirven para sujetar la alidada al aro metálico *o*, de ésta forman pueden girar ambos a la vez en un plano horizontal, alrededor del centro del tablero. Una vez montada la alidada y sujeta por los tornillos *t*, no hay peligro de que se suelte aunque para ir de una estación a otra no se desmonte; para mayor seguridad lleva un tornillo de presión para sujetar la alidada al tablero. En la parte de la alidada podemos observar tres reglas graduadas, además de la propia de la alidada *A*, una para las longitudes



(a) Alidada

Figura 6.1: Plancheta grafo-numérica Votti

L, otra para las alturas *H* y otra para las distancias *D*. Todas las reglas están diseñadas para una escala 1:1000.

6.2. Regla-eclímetro de Goulier

Esta alidada creada por el coronel Goulier, es recomendada para su uso en planchetas, ya que es cómoda y ligera.

La regla de la alidada se utiliza para declinar (dirigir la plancheta al Norte) y trazar las direcciones. Esta regla *AB* es logarítmica, a través de ella resbala otra más pequeña *ab*, que se aplica como regla de cálculo. En un extremo de las reglas hay un taco *M,* en el que se monta la alidada. El anteojo del instrumento tiene forma acodada, de forma que el ocular corresponde a *C*, el objetivo corresponde a *E* y un prisma de reflexión total corresponde a *D*, que produce el quiebro del eje óptico en ángulo recto. El retículo, que se puede ver en la figura 6.2, está grabado en la parte superior del prisma y tiene una escala para las distancias y otra para las inclinaciones, la línea vertical es la línea que debemos ajustar a la mira. El

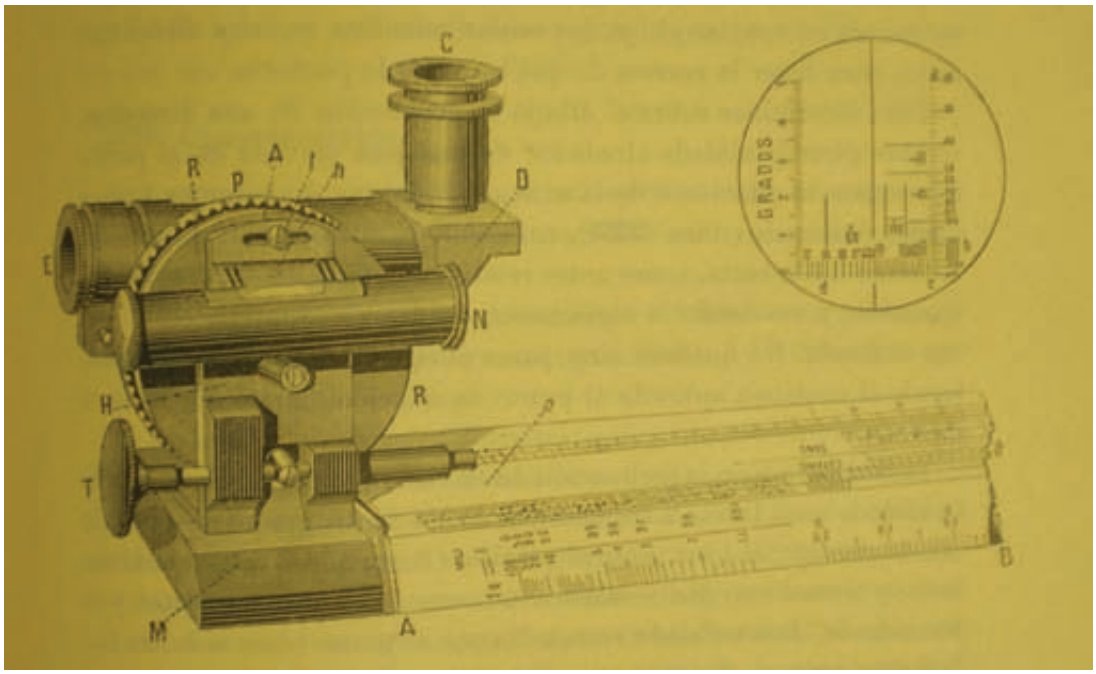


Figura 6.2: Regla-eclímetro de Goulier

anteojo va soldado a un disco que sujeta el limbo del instrumento.

6.3. TAQUIGRAFÓMETRO MAS ZALDÚA

Al igual que los anteriores instrumentos, la regla-eclímetro de Goulier y la plancheta grafonumérica de Votti, este instrumento pretende proporcionar datos numéricos y gráficos.

El comandante Mas Zaldúa se fundamenta en un distanciómetro autorreductor para obtener la distancia reducida mediante la fórmula $l = cte \times cos^2\alpha$, pero no mediante el movimiento de los hilos del retículo, sino empleando un diagrama grabado en él, como en el autorreductor Roncagli-Urbani. A este se le pone un aparato no reductor para marcar en el dibujo los puntos observados, así como las diferencias de nivel.

Como podemos observar en la figura 6.3, la plancheta metálica *T* se monta sobre la columna *X* que sale de una plataforma nivelante, esta plancheta tiene una ranura por donde se introduce la hoja de dibujo. Encima de la plancheta *T*, se encuentra la placa de los nonios *EE*, con una apreciación angular de 0,01º y sobre ella se monta el resto del instrumento, dejando al descubierto parte de la plancheta para poder realizar anotaciones. Entre el disco y la plataforma se monta la declinatoria *D* y los tornillos, de presión *P'* y coincidencia *Q'*, para la

orientación y el movimiento general. Los tornillos *P* y *Q* son los de los nonios y la parte superior del instrumento. Sobre *EE* se colocan los montantes del anteojo, y paralela a estos se pone la regla *RR* y en uno de ellos la regla graduada *HH*, sobre cuyo borde superior desliza la escuadra de proyección *SS*, que está provista del nonio *S'*. La regla *HH* y la *SS* van divididas en milímetros. La regla *RR* y el lado vertical de la escuadra tienen ranuras longitudinales para que resbalen fácilmente las correderas *F* y *G*, la primera con nonio, articuladas al eje *O*. Finalmente, el marcador *W* de acero sirve para señalar las proyecciones de los puntos observados en el papel.

El instrumento lleva reglas y nonios de recambio para varias escalas.

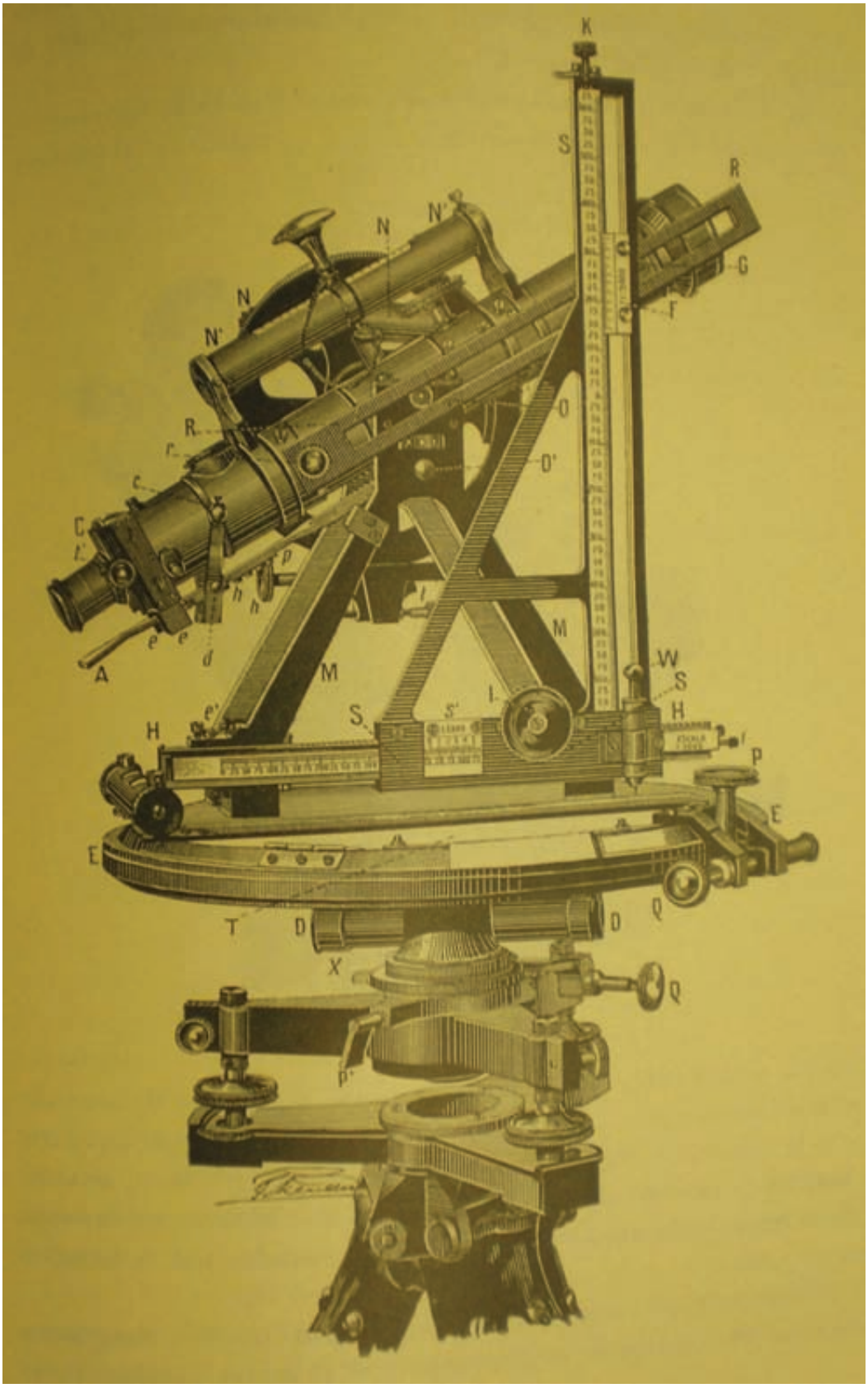


Figura 6.3: Taquigrafómetro Mas Zaldúa

Capítulo 7

SEXTANTES

El sextante es un instrumento que permite medir ángulos entre dos objetos. Conociendo la elevación del Sol y la hora del día se puede determinar la latitud a la que se encuentra el observador. Esta determinación se efectúa con bastante precisión mediante cálculos matemáticos sencillos de aplicar.

Este instrumento, que reemplazó al astrolabio por tener mayor precisión, ha sido durante varios siglos de gran importancia en la navegación marítima. El nombre sextante proviene de la escala del instrumento, que abarca un ángulo de 60º, o sea, un sexto de un círculo completo.

Los sextantes se basan en el principio de los instrumentos de reflexión, el cual consiste en transportar dos objetos, cuyo ángulo queremos medir, a una misma visual. Uno de ellos lo veremos directamente y el otro lo llevaremos a la visual del primero mediante una doble reflexión en dos espejos.

Los sextantes están compuestos de un espejo móvil con una aguja que señala en la escala el ángulo medido, y un espejo fijo, que permite ver a través de el. Además, estos instrumentos se usan sujetándolos con la mano, por lo que todos llevan un mango para asirlo.

7.1. SEXTANTE DE REFLEXIÓN

El sextante de reflexión es más conocido simplemente por sextante.

Consta de una armadura metálica, con forma de sector circular, cuyo arco vale 60º. Este arco está dividido en grados y sextos de grado, con el cero a la derecha, mirando la graduación desde el exterior. Hay un espejo fijo *N*, en la parte superior de la armadura y perpendicular a ella, el cual tiene la mitad inferior azogada (refleja toda la luz que incide en él) y la parte superior es transparente para poder ver a través de ella el anteojo *d*. El anteojo está introducido en la argolla *c* a rosca, con esta puede subirse o bajarse gracias a un tornillo *t*, que sirve de unión a la armadura. Alrededor del centro del arco ab gira una alidada *A*, que lleva un nonio *n*, con su lente, *l,* y un sistema de tornillos de presión y ajuste, *P* y *C*, todo ello está montado en el extremo la alidada. En el otro extremo de la alidada, tenemos otro espejo, *M*, perpendicular a la armadura y totalmente azogado, que sigue a la alidada en su movimiento.

El sextante está construido de tal manera que, cuando el cero del nonio coincide con el del arco *ab*, los dos espejos son paralelos. Mirando a un objeto cualquiera a través de la parte transparente del espejo *N*, a la vez se verá en la parte inferior del espejo *N*, la imagen del objeto, resultante de su doble reflexión en *M* y *N*.

7.2. SEXTANTE DE UN SOLO ESPEJO

Es menos preciso que el sextante de reflexión pero es más fácil su manejo.

Se compone (fig. 7.2) de una alidada de pínulas *AB*, o de un anteojo en vez de la alidada de pínulas; de un sector metálico *abc*, capaz de girar alrededor de su centro *c* sobre al eje perpendicular a él y a *AB*; de un espejo *M*, situado sobre el sector metálico y en su centro, además es perpendicular a su plano y está orientado en la dirección del radio que va al punto cero de la graduación *ab* y que gira con ella alrededor de *c*; finalmente, lleva un índice o nonio *n*, fijo a la alidada, con el que se hacen las lecturas en el limbo *ab*. La graduación va de *b* a *a*.

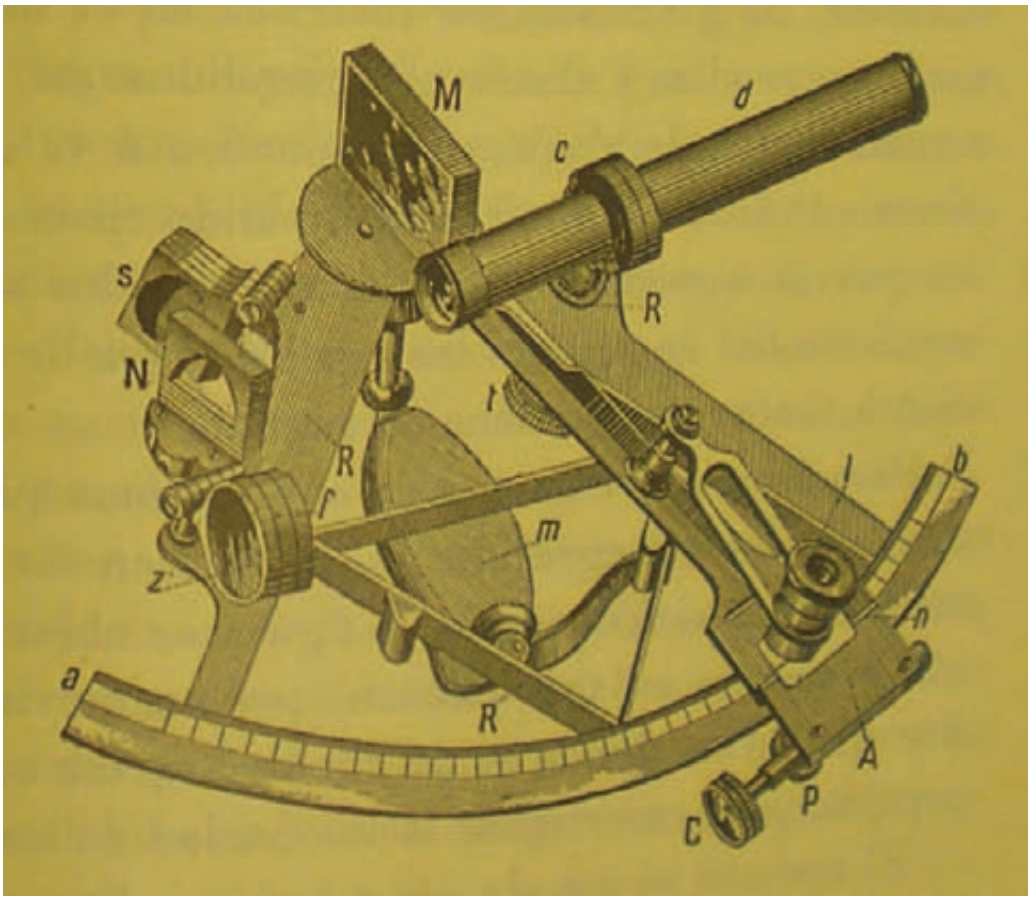


Figura 7.1: Sextante de reflexión

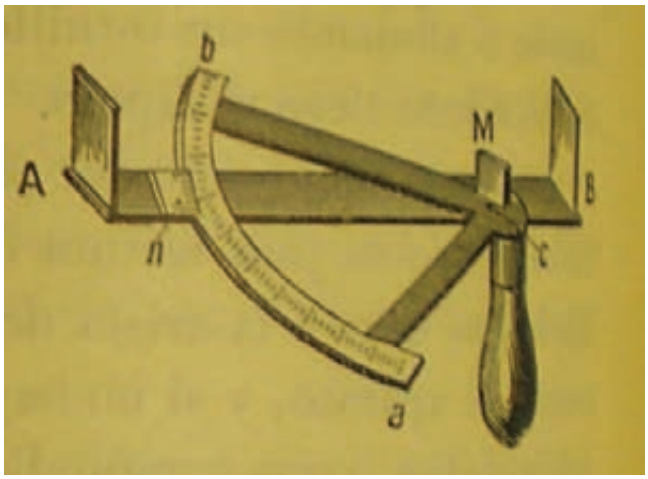


Figura 7.2: Sextante de un espejo

Cuando el nonio marca cero, el espejo *M* se halla en el plano visual determinado por las pínulas. Si en esta posición, llevamos el aparato a un punto *M*, y dirigimos una visual a *A*, empezamos a girar el sector hacia la derecha, y con él el espejo. En esta posición, se irán viendo por reflexión en *M* los objetos situados a esta parte, y si nos fijamos en uno, *C*, al ser igual los ángulos de incidencia y reflexión de los rayos *CM*, *MB* con el espejo, hace que el ángulo formado por *CM* sea igual al formado en el espejo por *MA*.

Capítulo 8

BRÚJULAS

La brújula topográfica ha sido, entre otras cosas, el instrumento básico utilizado para el relleno del mapa nacional 1:50000 en España. Por eso, tienen una gran importancia en el contexto instrumental que estudiamos.

8.1. BRÚJULAS DE LIMBO FIJO, DE LIMBO MÓVIL Y EXCÉNTRICAS

En casi todos los instrumentos topográficos de la época había un brújula como un elemento más de ellos.

Las brújulas de limbo fijo es el caso teórico e ideal que, por supuesto, no se suele dar.

La aguja magnética, el limbo y la alidada son los elementos esenciales en cualquier brújula. Tenemos una alidada que gira en torno a un punto de suspensión, de una aguja imantada, a la cual se le acopla un limbo graduado que está fijo. Gracias a la propiedad característica de la aguja, ocurrirá que siempre que coloquemos el limbo en posición horizontal, la aguja y el diámetro del limbo tomarán la dirección Norte-Sur de la meridiana magnética. Así, si visamos a algún punto y el cero del limbo coincide con el Norte, podemos conocer el rumbo de la dirección respecto a la meridiana magnética.

Este tipo de brújula es la que se utilizó para fabricar el Wild T0.

Figura 8.1: Brújula excéntrica

La brújula de limbo móvil, al contrario que las de limbo fijo, tienen la aguja magnética fija y lo que se mueve es el limbo.

La brújula excéntrica es aquella brújula móvil en la que el eje de suspensión de la aguja está fuera del plano vertical que por la visual pasa. Esto provoca que se cometa un error, al que se llama excentricidad, que es, en general, despreciable. Así pues, suponemos que los rumbos que nos da este tipo de brújulas son exactos al ser tan pequeño el error de excentricidad, esto no quiere decir que no se pueda corregir ni eliminar.

8.2. BRÚJULA DE AGRIMENSOR

Este tipo de brújulas ofrecen una aproximación escasa en la determinación de los rumbos, ya que son las brújulas más simples que hay; también se les llama brújulas comunes de caja.

La brújula se monta en una caja cuadrada de madera donde se ha hecho un rebajo cilíndrico circular en el que se aloja el limbo NEOS, donde están marcadas las direcciones; perpendicular al rebajo y al limbo, sale un hierro en el que se apoyará la aguja imantada. La aguja imantada lleva una capa superficial de óxido abrillantado en su mitad Norte para distinguirla de su parte Sur. La aguja se apoya en la punta del estilete (donde ésta descansa) por medio de una montura de ágata o cristal, que en su parte inferior tiene un hueco cónico, cuyo vértice es el que descansa en la punta.

El limbo está colocado de forma que la dirección 0º-180º es paralela a una de las caras

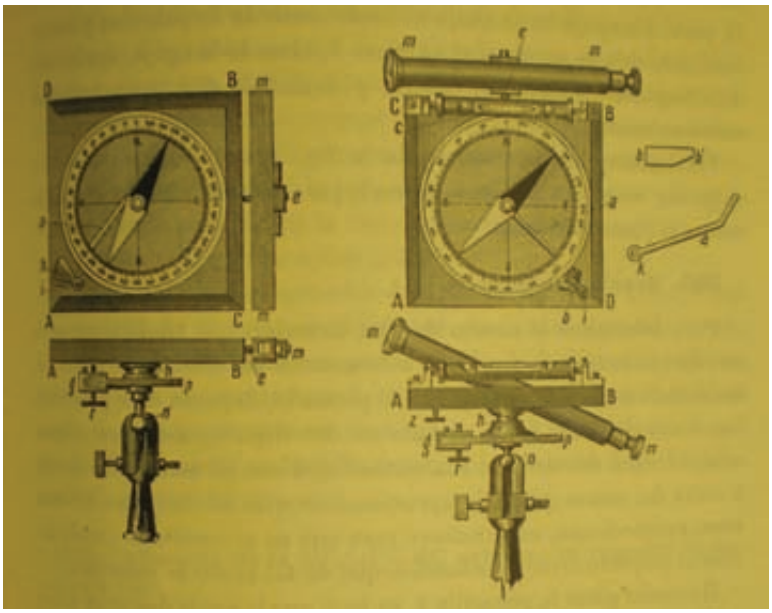


Figura 8.2: Brújula de agrimensor, básica y con anteojo y nivel

laterales de la caja, y esta graduado de izquierda a derecha.

Todo queda protegido por un cristal que se sujeta a la caja de madera por un arco metálico y también tiene una tapa de madera que lo cierra totalmente.

El anteojo puede ser una alidada prismática o un anteojo astronómico, en los más precisos, que gira alrededor de un eje perpendicular al lado izquierdo de la caja de madera, de manera que el anteojo quede paralelo a ese lado y a la dirección 0º-180º.

La unión al trípode se realiza mediante un eje nivelante o una rodilla de nuez.

8.3. Brújula de agrimensor perfeccionada

Las llamadas “brújulas de agrimensor perfeccionadas”, son una brújula de agrimensor a las que se les han añadido elementos para hacerla más precisa. Las diferencias son que en vez de unirse al trípode con una rodilla de nuez lo hacen con una plataforma nivelante, y en el lado donde llevan el anteojo, que es estadimétrico, tienen adaptado un limbo vertical para medir ángulos de pendiente. Pero el hecho de mezclar un instrumento con materiales cuyos coeficientes de dilatación y resistencia son tan diferentes, como la madera y el metal, provoca desarreglos que se acentuarán con el uso, con lo que, quizás, las mejoras no son tales.

Para ello, se fabricaron la brújula de Breithaupt, de plataforma, o la brújula de Goulier, totalmente metálica. Estas dos brújulas son las más perfectas y exactas que se conocieron en la época.

8.3.1. BRÚJULA BREITHAUPT

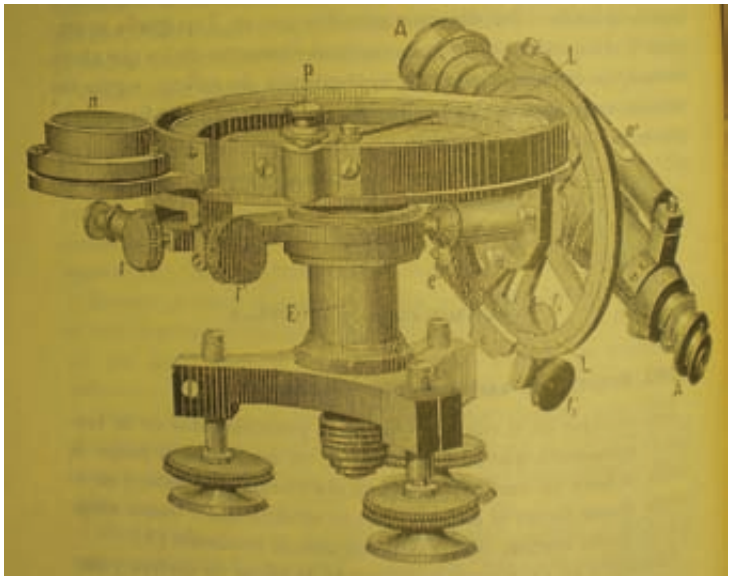


Figura 8.3: Brújula Breithaupt

E - Eje general de giro.

e - Eje de rotación del anteojo.

A - Anteojo estadimétrico, aumento de 18 veces.

L - Limbo para ángulos de inclinación.

P - Tornillo de suspensión de la aguja.

n - Nivel esférico para horizontalizar el limbo de la brújula.

n' - Nivel caballero del anteojo.

tt' - Sistema de tornillos de movimiento rápido y lento para el giro alrededor de *E*.

$t_t t'_t$ - Sistema de tornillos de movimiento rápido y lento para el giro del anteojo alrededor de *e*.

8.3.2. BRÚJULA GOULIER

La brújula Goulier es muy parecida a la Breithaupt. Sus diferencias son que el eje general es excéntrico con respecto al limbo, que el nivel *n* no es esférico y que la aguja está constantemente suspendida por un resorte que sólo la eleva cuando la esfera *r* ocupa la posición

normal. Para que la aguja descanse sobre el estilete, hay que levantar la esfera y esperar así a que la aguja detenga sus oscilaciones.

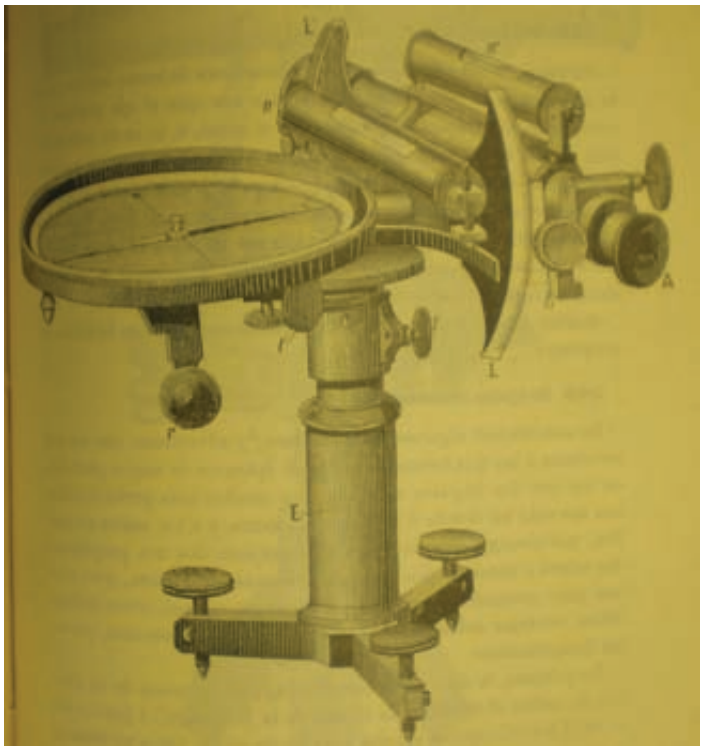


Figura 8.4: Brújula Goulier

E - Eje general de giro.

e - Eje de rotación del anteojo.

A - Anteojo estadimétrico, aumento de 14 veces.

L - Limbo para ángulos de inclinación.

P - Tornillo de suspensión de la aguja.

r - Esfera.

n - Nivel esférico para horizontalizar el limbo de la brújula.

n' - Nivel caballero del anteojo.

tt' - Sistema de tornillos de movimiento rápido y lento para el giro alrededor de *E*.

$t_t t'_t$ - Sistema de tornillos de movimiento rápido y lento para el giro del anteojo alrededor de *e*.

8.4. BRÚJULA CONCÉNTRICA

No fueron prácticamente usadas en España pero su influencia en Inglaterra fue muy grande. Estas brújulas dan mejores rendimientos que las brújulas de agrimensor.

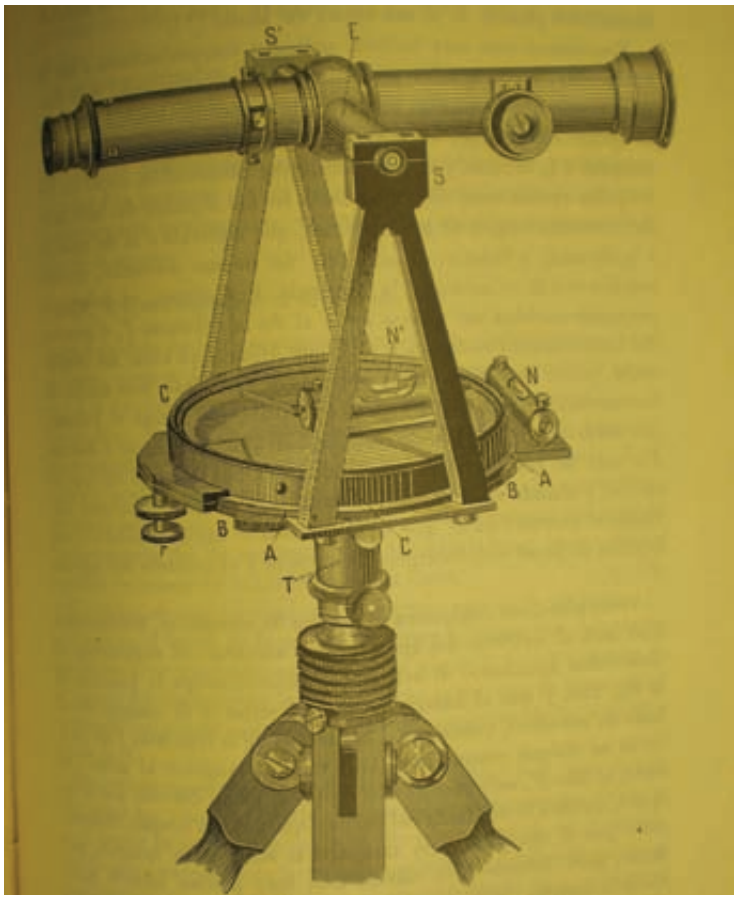


Figura 8.5: Brújula concéntrica

8.4.1. BRÚJULA CONCÉNTRICA

La más perfeccionada, se compone de un platillo, *A*; sobre él va colocada la caja de la brújula, *C*, y junto a ella se ve el tornillo que se emplea para hacer que la aguja no descanse en su montura cuando no se trabaja con el instrumento. Del platillo *A*, arrancan dos soportes, *S* y *S'*, que sirven de apoyo al eje *E* de rotación del anteojo. El platillo *A* está sobre otro, *B*, fijo a la columna *T* del aparato, alrededor de la cual puede girar el platillo *A*, resbalando sobre el *B*, y dirigiendo sus movimientos con un tornillo de presión *r*. Todo esto se une al trípode mediante una rodilla de nuez. También lleva niveles, *N N'*, en cruz para una horizontalización perfecta del platillo *A* y, por tanto, del limbo. Algunas brújulas llevan, además, un limbo vertical para medir inclinaciones y en algunos casos, se le añadía a los soportes *S* ó *S'* un tangentímetro.

Esta es la mejor brújula que existió, aunque su precisión siempre depende de la aguja magnética.

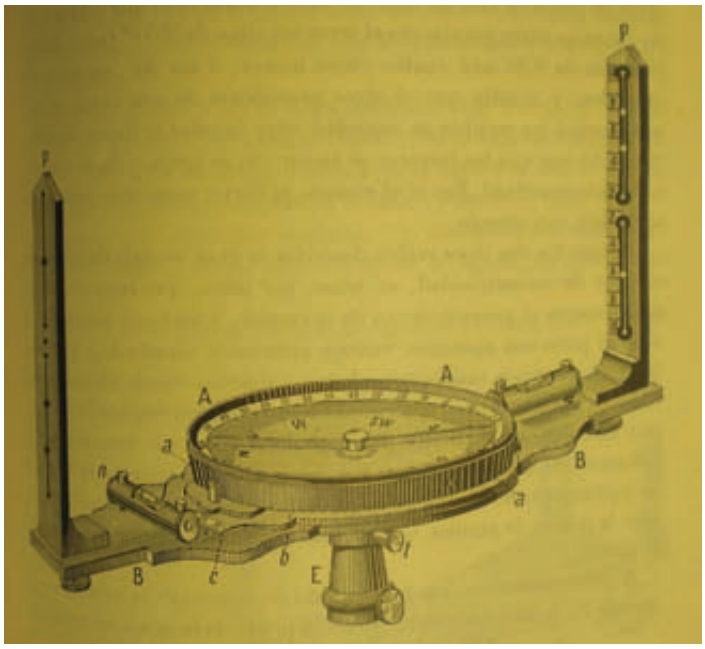


Figura 8.6: Brújula concéntrica de pínulas

8.4.2. BRÚJULA CONCÉNTRICA DE PÍNULAS

Este tipo está menos perfeccionado que el anterior, ya que las visuales se hacen con pínulas, pero, aún así, es mucho mejor que la brújula de agrimensor.

En esta brújula, la caja, *A*, está montada sobre un disco metálico, *a*, que descansa sobre la placa alargada, *BB*, donde resbalan en movimiento circular el disco metálico *a* y la caja *A*. Estas giran alrededor del eje general del aparato, que es la prolongación del de suspensión de la brújula, mediante un tornillo. Gracias a este movimiento, las graduaciones del nonio *C*, grabado en el borde de la parte *b* del disco *a*, pasan por delante de las de un arco graduado trazado en la placa *BB*, cuyo centro es el del limbo. En el extremo de la placa *BB*, se levantan dos pínulas *PP* con las cuales dirigiremos las visuales. Dos niveles, *n*, harán que horizontalicemos la placa *BB*. El tornillo *t* sirve para detener el movimiento del instrumento alrededor del eje general. *E* es el aparato de unión al trípode, suele ser una rodilla de nuez. Las pínulas llevan una escala graduada que sirve para medir pendientes.

Tanto en ese instrumento como en el anterior, la aguja magnética es un paralelogramo dispuesto verticalmente, en vez de de ser ancha horizontalmente y estrecha verticalmente, para aminorar el movimiento vibratorio de la misma.