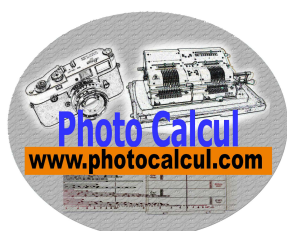
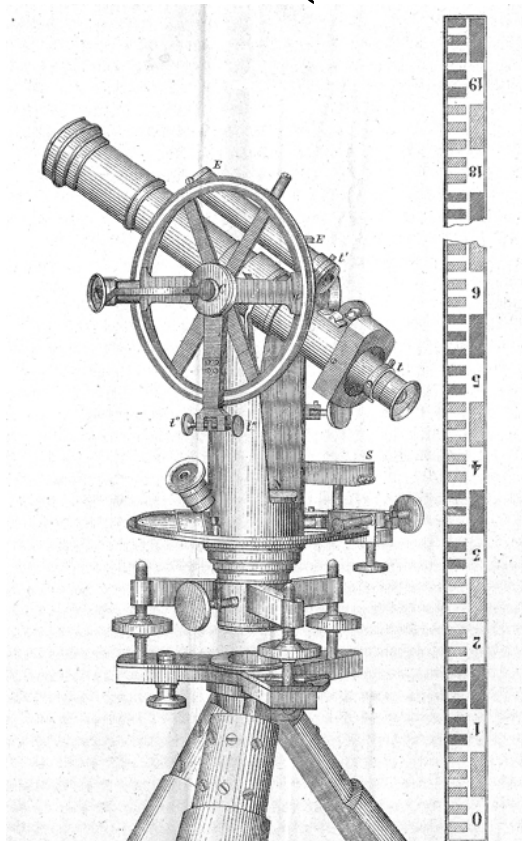


LAS REGLAS DE CALCULO TAQUIMETRICAS EN ESPAÑA (1860-1920)



Gonzalo Martin Armendáriz



arc.reglasdecalculo.org

Abril 2013

TAB. SURVEYING

Page 156

Fig. 1 Chain

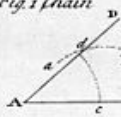


Fig. 2 Chain

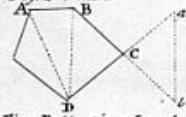


Fig. 7 Reflecting Level

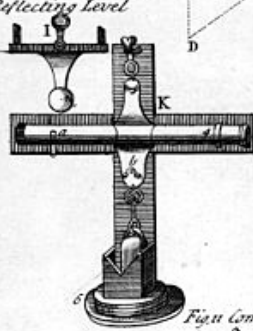


Fig. 3 Chain

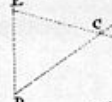


Fig. 8 Gunners Level



Fig. 4 Air Level

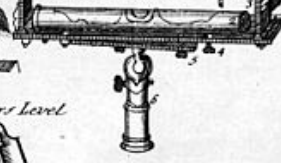


Fig. 5 Air Level

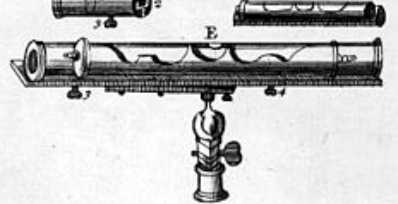


Fig. 6 Plumb Level

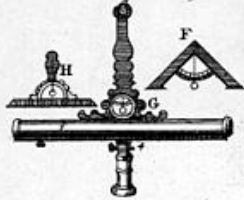


Fig. 9 Levelling

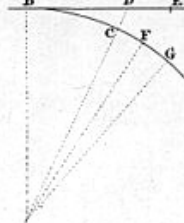


Fig. 10 Levelling



Fig. 16 Semi Circle



Fig. 11 Levelling



Fig. 12 Compass

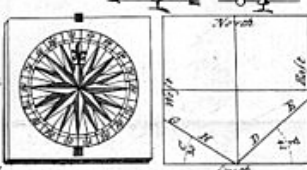


Fig. 12 Compass Surveying



Fig. 15 Compass

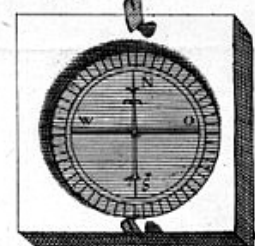


Fig. 17 Everards Sliding Rule

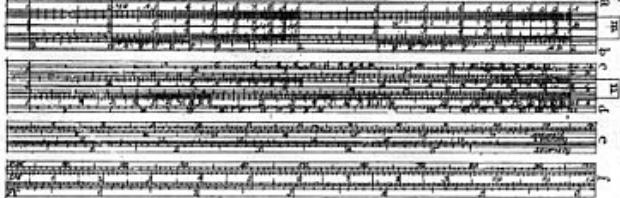


Fig. 18 Logarithmic Sliding Rule



Fig. 21 Circumferenter

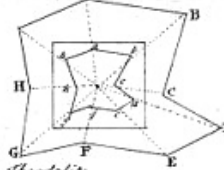


Fig. 20 Circumferenter Plain Table

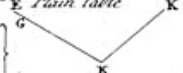


Fig. 22 Foot Level



Fig. 19 Four foot Gauging Rod

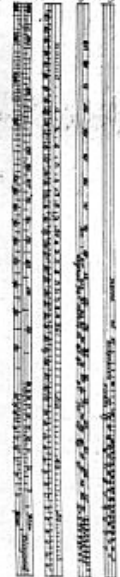


Fig. 19 Circumferenter



Fig. 25 Theodolite



Fig. 23 Theodolite



Fig. 26 Gauging



Fig. 27 Gauging



Fig. 23 Perambulator

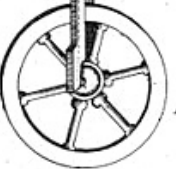


Fig. 24 Grefs

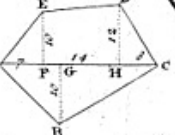


Fig. 30 Quadrant

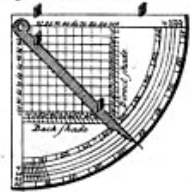


Fig. 31 Plotting

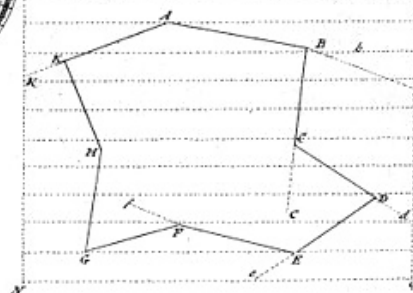


Fig. 31 Plain Table

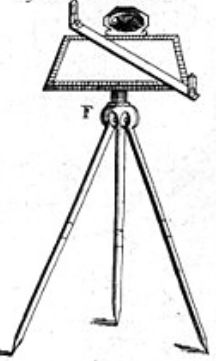


Fig. 29 Protractor

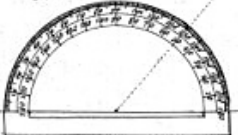


Fig. 32 Plotting Scale



Fig. 32 Plain Table

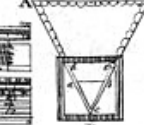


Fig. 33 Plain Table

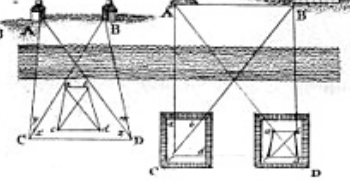
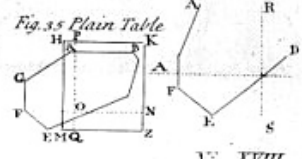


Fig. 36 Plain Table



AV. XVIII.

LAS REGLAS DE CALCULO TAQUIMETRICAS EN ESPAÑA (1860 - 1920)

Resumen

El método taquimétrico para el levantamiento de planos fué inventado por el topógrafo italiano J. PORRO hacia 1840. Los procedimientos taquimétricos fueron publicados por primera vez en Italia el año 1849 y posteriormente en Francia en los 'Annales des ponts et chaussées'(1852)[1] y en el libro escrito por Porro 'La Tachéométrie ou l'Art de lever des plans'(1858) [2]. Este método fué enseñado en Francia desde el año 1850 en las escuelas de Estado Mayor del Ejército, Ingenieros de Caminos, Ingenieros de Minas..

Los ingenieros y topógrafos españoles adoptaron poco a poco este procedimiento [3], algunos de ellos editaron libros con el objetivo de divulgar y promocionar la taquimetría. Estos libros, siguiendo los consejos de Porro, proponen instrumentos especiales de cálculo entre los cuales se encuentran las reglas taquimétricas.

El presente trabajo que trata de los instrumentos aparecidos en España durante los años 1860 - 1920 no dará detalles de su utilización, la bibliografía adjunta permitirá a los curiosos de seguir investigando el tema.

1 Introducción

« La Taquimetría es el arte del levantamiento de planos y su nivelación con una considerable economía de tiempo y un grado de exactitud en los resultados superior al alcanzado por los demás métodos conocidos; el taquímetro es el único instrumento necesario para la solución práctica de este problema » así define Porro la Taquimetría en su libro [2].

Porro revolucionó los levantamientos de planos modificando los procedimientos utilizados hasta entonces al construir en Milan un taquímetro, aparato que no es más que un teodolito con dos círculos: el círculo horizontal (azimutal) que se puede orientar con la ayuda de una brújula declinatoria y el círculo vertical (zenital) que es solidario de un anteojo cuyo retículo posee hilos estadimétricos.

Este montaje permite calcular directamente las distancias gracias a una mira graduada convenientemente, sin estar obligados de utilizar la cadena de agrimensor como se venía haciendo.

Porro era consciente de las dificultades que podían obstaculizar la aceptación del nuevo método, entonces aconsejó para los cálculos las escalas logarítmicas, indicando como organizarlas y utilizarlas.

Sugirió que las escalas se dibujaran en un soporte rígido (cartón, placa metálica) y se utilizaran con un compás de puntas o que se grabaran en una regla de cálculo, en este caso se simplificarían las operaciones y la exactitud sería mayor, ya que debido a la disposición de sus escalas con una sencilla manipulación de la regla de cálculo se obtiene la resolución de las cuatro fórmulas taquimétricas que descubriremos mas adelante.

También recomendó que se utilizaran tablas numéricas calculadas de antemano a pesar de que los resultados se consiguen con menos rapidez que con la regla logarítmica.

La utilización de la regla o de las tablas desaparecerá al mismo tiempo que se impuso el taquímetro autoreductor, inventado por Sanguet hacia 1860, ya que ese tipo de taquímetro calcula directamente la distancia reducida y el desnivel. No obstante se siguieron utilizando los dos tipos de taquímetro durante muchos años.

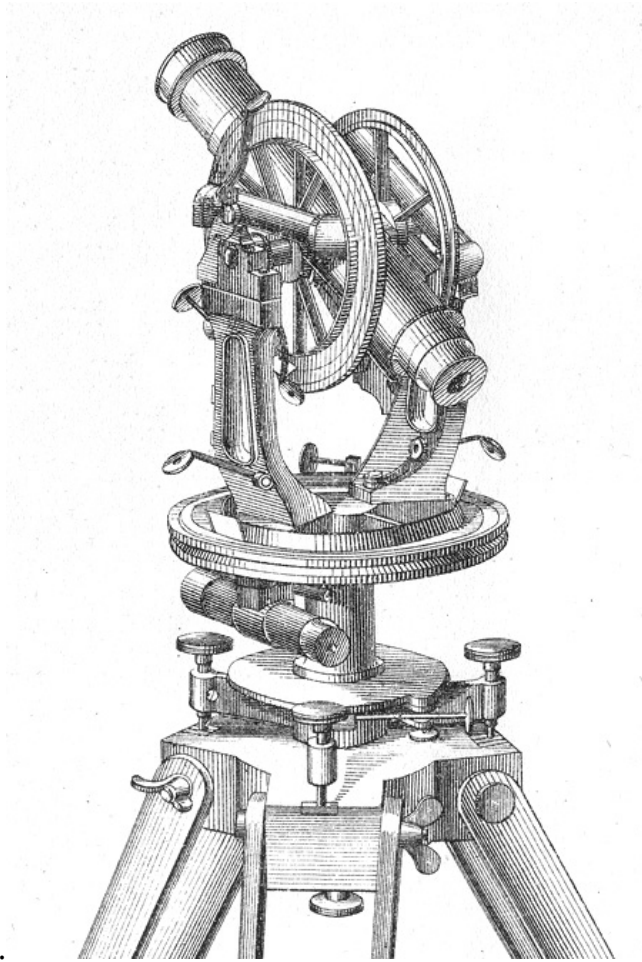


Fig 1 Taquímetro Moinot
(Levé de plans à la stadia 1877)

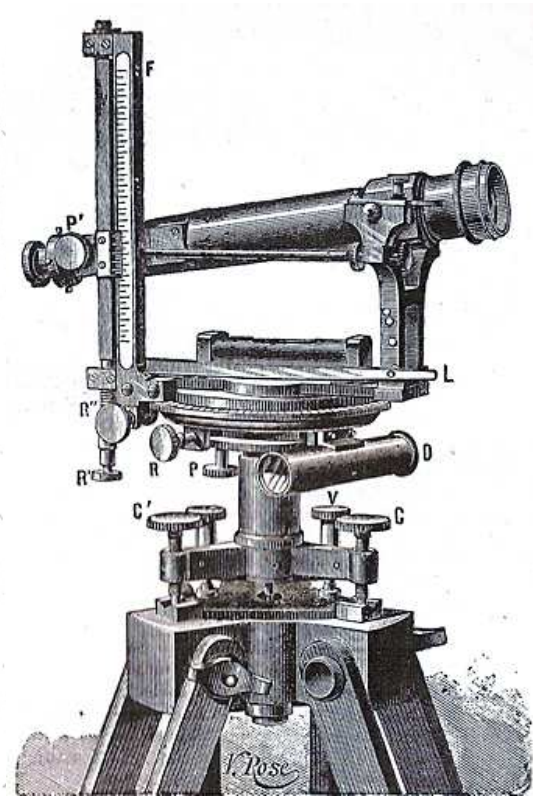


Fig 2 Taquímetro autoreductor de Sanguet
(Topographie Charles Muret 1914)

2 Principios del método de Porro

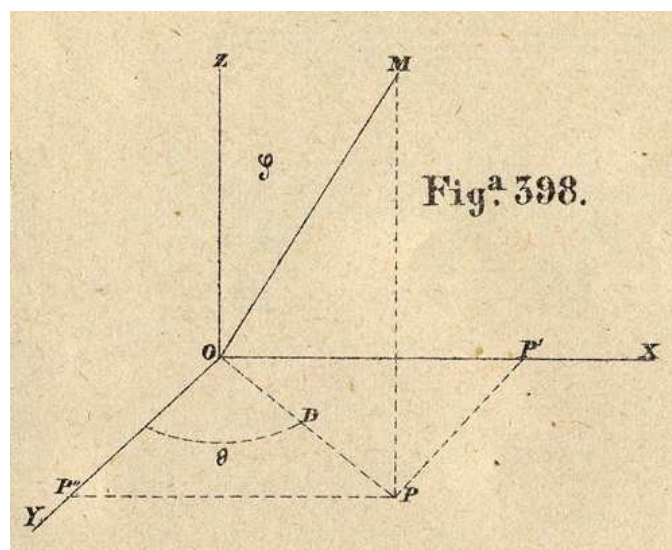


Fig 3 Las tres coordenadas x , y , z del punto observado M se obtienen con relación a los planos coordenados del punto O de observación.

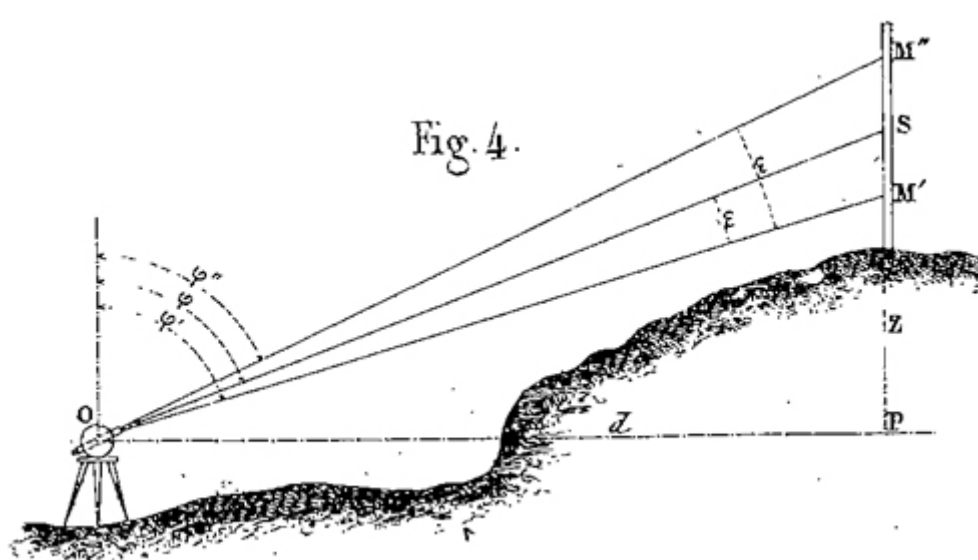


Fig 4 Taquímetro - Visual dirigida a la mira M''M'
(Annales des ponts et chaussées 1852)

Z es el desnivel entre el centro del anteojo y la base de la mira

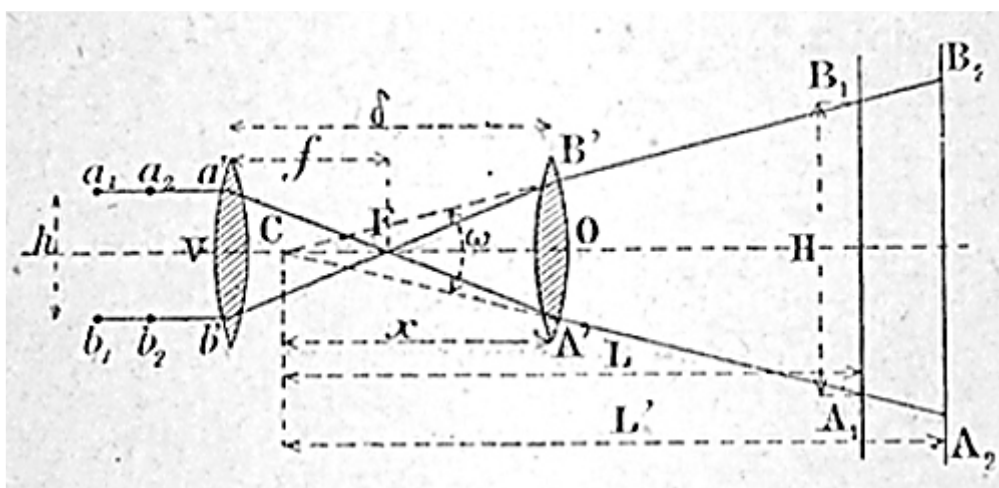


Fig 5 Anteojo analítico (Topographie por Eugène Prévot 1898)

El anteojo del Taquímetro

PORRO, hacia 1840, introduce en el anteojo astronómico una lente convergente llamada 'analítica' lo que permitirá que haya una relación constante entre la distancia constatada en el retículo y una mira colocada verticalmente. Es el principio de los aparatos llamados 'taquímetros' (Traité de topographie -PELLETAN-1893)

El anteojo es estadimétrico por permitir que se lean las distancias directamente sobre la mira, también es analítico por estar construido de tal manera que esas distancias parten del centro del instrumento.

Este anteojo lleva dos hilos en su retículo; cuando se visualiza una mira colocada en el punto que queremos determinar, el número de divisiones de la mira comprendidos entre los hilos del retículo da la distancia OS entre la mira y el centro del instrumento (Fig 4).

Se demuestra que el número de divisiones comprendidas entre los hilos es proporcional a esta distancia, el aparato se construye con una constante igual a 100 para tener $OS = 100 M'M''$.

A continuación se exponen las fórmulas taquimétricas demostradas por Porro en su libro [2], con ellas se calculan las coordenadas x , y , z así como la distancia d , reducida al horizonte, entre el punto de observación y el punto observado:

1. Las fórmulas que sirven para determinar las coordenadas de los diversos puntos de un plano levantado por medio del taquímetro son

$$\begin{aligned} D &= g \operatorname{sen}^2 \varphi \\ z &= D \cot. \varphi - h \\ x &= D \operatorname{sen} \theta \\ y &= D \cos. \theta \end{aligned}$$

en las cuales representan

g , el número generador dado por las lecturas hechas en la mira.

φ , el ángulo que forma la visual con la vertical.

D , la distancia horizontal al centro de estacion.

h , la altura de mira.

θ , el ángulo horizontal formado con el eje de las y que puede ó no ser la meridiana magnética.

x , y , z , las tres coordenadas del punto observado, tomadas con relacion al origen de coordenadas de una estacion.

La fórmula que da el valor de z no es calculable por medio de los logaritmos, porque es una resta, y solo podremos valernos de ellos para hallar el valor del primer término $D \cot. \varphi$, que representaremos por T ; de esta manera las cuatro fórmulas que se pueden resolver con los logaritmos son

$$\begin{aligned} D &= g \operatorname{sen}^2 \varphi & [1] \\ T &= D \cot. \varphi & [2] \\ x &= D \operatorname{sen} \theta & [3] \\ y &= D \cos. \theta & [4] \end{aligned}$$

Porro ideó cuatro escalas logarítmicas centesimales apropiadas para el cálculo de las precedentes formulas, hay que darse cuenta que estas escalas dan una exactitud en armonía con la que se obtiene con su anteojo.

- Escalas de números (logaritmos de distancias).
- Escalas de senos cuadrados (distancias reducidas al horizonte).
- Escalas de senos (coordenadas x , y).
- Escalas de tangentes (cálculo de desniveles).

Estas formulas y escalas son empleadas por todos los autores de tratados de taquimetría citados en este trabajo. Todos coinciden en la manera de calcular los valores d , x , y pero tratan de diferentes maneras el cálculo de z , que no se puede obtener directamente con las escalas; suelen explicar sobre todo la manera de calcular la tangente, $t = d \cot \varphi$.

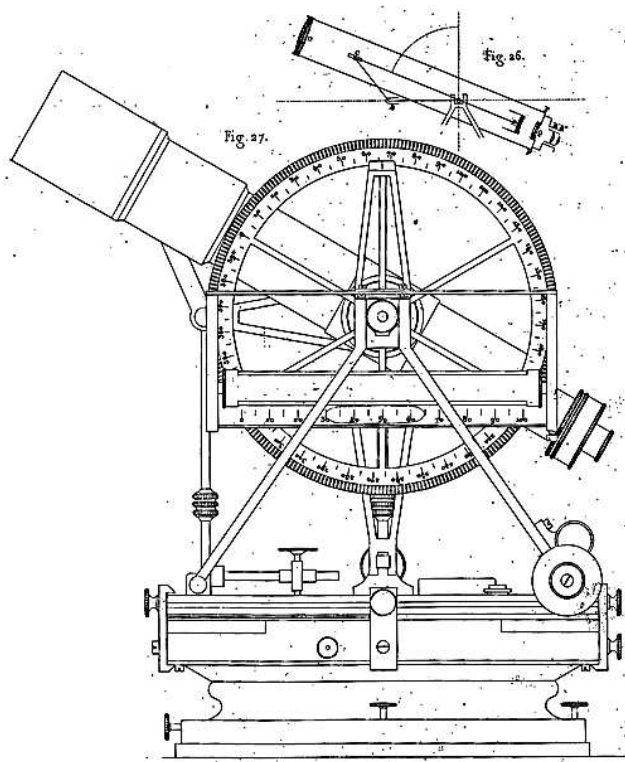


Fig 6 Taquímetro de Porro
(Annales ponts et chaussées 1852)

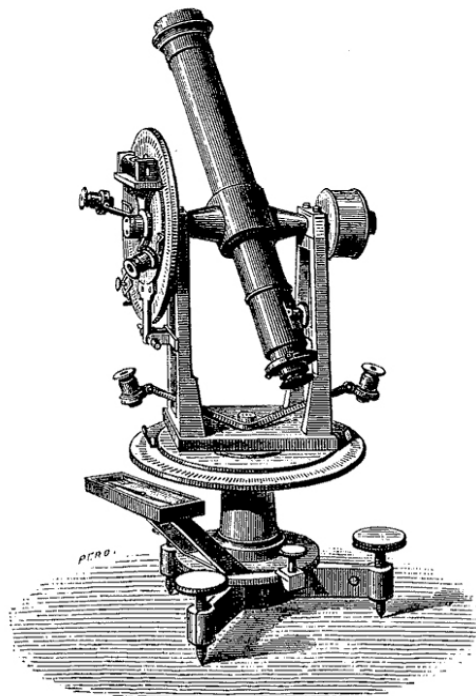


Fig 7 Taquímetro Porro modificado por
Moinot (catálogo Secretan 1874)

3 Las primeras reglas

3.1 La regla de Porro

El libro de Porro incluye el grabado de una regla de cálculo dotada de sus escalas (Fig 8), esta regla tiene un tornillo para asegurar el movimiento de la reglilla así como una lupa para la lectura de las divisiones; no se sabe si fué comercializada.

Lo que si se vendió fueron sus escalas con el nombre de ‘Escalas logarítmicas centesimales’.



Fig 8 Regla de Porro (Annales des ponts et chaussées 1852)

3.2 La regla de Moinot

El ingeniero I. Moinot edita en Francia el libro ‘Levés de Plans à la Stadia’ (1865) [4].

En este libro aparece una regla de cálculo con las escalas taquimétricas de Porro.

La segunda edición del libro (1873) enseña la misma regla pero con una modificación que consiste en la introducción de una segunda escala de senos cuadrados y de una escala de partes iguales * en el mismo lado de la reglilla. El constructor de esta regla, de 40 cm, es M. Richer, gran constructor de instrumentos científicos.

Esta regla modificada va servir de modelo a los topógrafos españoles como se va a explicar a continuación en este documento.

La regla de cálculo Richer-Moinot tiene un aspecto clásico con una parte fija y una reglilla que se desliza en su interior gracias a una ranura; no necesita cursor. Se pueden ver imágenes de esta regla en la Fig 9 y otras más detalladas en los Anexos 1 a 4.

En la parte fija se colocan dos escalas idénticas de los números a cada lado de la ranura.

La reglilla lleva en una cara la escala de los senos, en la parte superior, y la escala de números en la parte inferior.

La otra cara de la reglilla lleva la escala de tangentes, en la parte superior, y la de senos cuadrados junto a la de partes iguales en la parte inferior.

La escala de senos cuadrados sirve para el cálculo de distancias, la de senos sirve para los cálculos de coordenadas rectangulares y la de tangentes se utiliza para el cálculo de alturas, la de partes iguales sirve para determinar los logaritmos de los números.

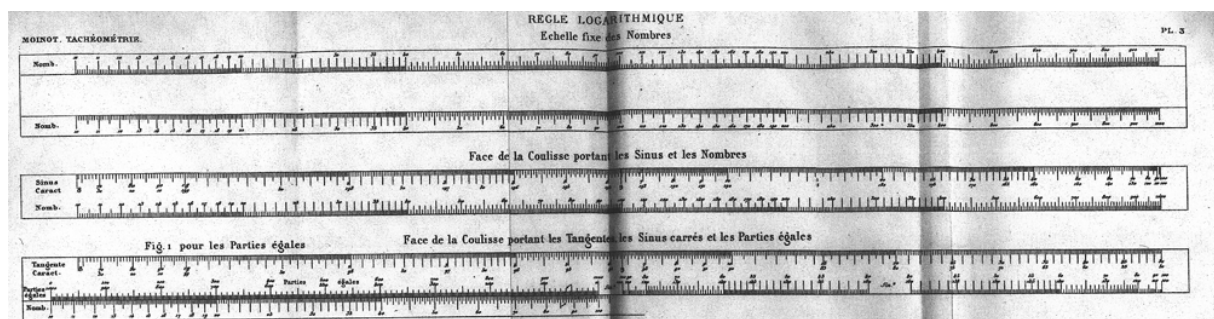


Fig 9 Regla de Moinot (Levé de plans à la stadia 1877)

* Escala de partes iguales : Escala natural cuya longitud está dividida en 1000 partes iguales; se emplea conjuntamente con la escala de números para el cálculo de logaritmos.

4 Los medios auxiliares de cálculo taquimétrico utilizados en España

Vamos a examinar los útiles de cálculo descritos en las obras de algunos topógrafos, se clasificarán por familias: Escalas, Reglas, Círculos, Tablas gráficas y Tablas taquimétricas.

4.1 Escalas logarítmicas

Se encuentra una referencia a estas escalas en un catálogo de instrumentos topográficos de la Academia de Ingenieros de 1857.[5]

Los primeros autores que trataron de la taquimetría explicaron con muchos detalles las escalas logarítmicas de Porro, por ejemplo **Clavijo** (1852). En su libro ‘Tratado de Topografía’ [6] explica las escalas propuestas por Porro detallando su construcción en cualquier soporte rígido de una longitud de 40cm:

- 1 Escala de partes iguales (graduación 0 a 200).
- 2 Escala de los números (logaritmos 10 a 1000).
- 3 Escala logaritmos de senos (ángulos entre 1 y 100 grados) en la parte superior y escala inversa de logaritmos cosenos (ángulos entre 0 y 99 grados) en la parte inferior.
- 4 Escala logaritmos de tangentes (1 a 50 grados) en la parte superior, escala logaritmos de cotangentes (50 a 100 grados) en la parte inferior.
- 5 Escala complementaria de senos cuadrados de 60 a 140 grados a continuación de la escala 3.
- 6 Escala complementaria de los senos versos a continuación de la escala 4.

Esta última escala de senos versos ($\text{sen.ver.}a = 1 - \cos.a$) no estaba prevista por Porro, se desconoce su utilidad en los cálculos taquimétricos.

Después de explicar las escalas, Clavijo propone varios problemas prácticos de taquimetría y enseña como resolverlos con ayuda de las escalas.

Este libro es casi la traducción literal de la obra de Porro pero tiene el mérito de haber introducido su método en el ámbito de la topografía española. El libro no menciona ninguna regla de cálculo.



Fig. 10 Escalas taquimétricas (Clavijo)

4.2 Regla logarítmica de Richer-Moinot

Todos los otros libros de taquimetría que se han podido consultar tratan de la regla inventada por Moinot. Se refieren a la regla que aparece en la versión 2 de su libro [4] (con dos escalas sen^2); algunos libros también citan las escalas de Porro pero solamente como detalle histórico. Los siguientes tratados incluyen láminas con reproducciones, a veces en tamaño real, de la regla Moinot y dan explicaciones completas de la organización de sus escalas así como ejemplos de utilización, sin embargo no precisan ni el constructor de la regla ni la manera de adquirirla.

Borregón y Baranda - Revista de Obras Públicas (1872)

En los estudios para el paso de un ferrocarril entre Francia y España atravesando los Pirineos, los responsables del proyecto decidieron utilizar el método mas apropiado para este tipo de terreno particularmente accidentado, es decir escogieron el método taquimétrico que por cierto ya estaba utilizado por sus homólogos franceses en la otra vertiente.

Una serie de doce artículos publicados en la Revista de Obras Públicas va a exponer el método taquimétrico y sus instrumentos guiándose de los libros de Porro y de Moinot. Uno de estos artículos trata de la regla logarítmica de Moinot, sus escalas y su utilización [7].

Carderera (1877) [8]

El autor dice de una manera explícita que las obras de Porro y Moinot '*muy conocidas de los ingenieros*' le han ayudado en la redacción de su libro; agradece igualmente al ingeniero Borregón sus artículos editados en la Revista de Obras Públicas.

El libro de Carderera es muy completo ya que describe las escalas logarítmicas de la regla Moinot, un círculo logarítmico, unas tablas gráficas y también incluye tablas taquimétricas.

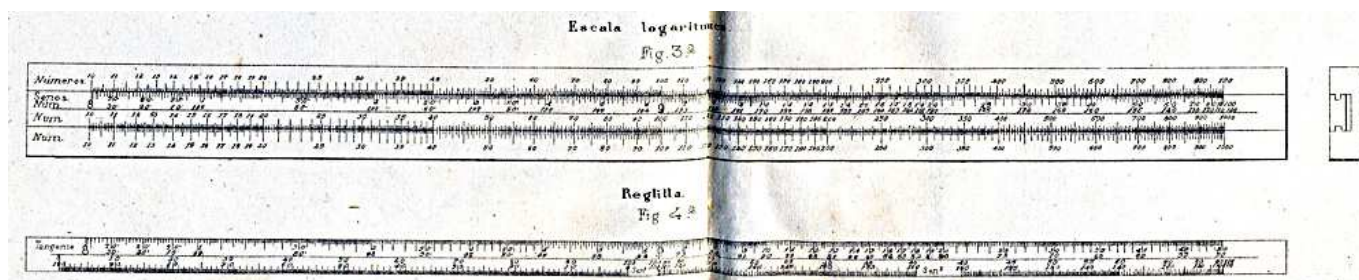


Fig. 11 Regla logarítmica (Carderera)

Peironcely - Revista de Obras Públicas (1881) [9]

Viendo la importancia que alcanza la utilización del taquímetro y de la regla logarítmica y teniendo en cuenta que la revista de 1872 estaba agotada, este ingeniero publicó una serie de tres artículos sobre la utilización de la regla logarítmica de Moinot (reproducida en el Anexo 3).

Bárcena (1882) [10]

El libro empieza con una Orden Real “..se ha dignado disponer que .. se recomiende la adquisición de una obra tan interesante como útil, a todos los funcionarios dependientes de la misma que por razón de su destino tienen que ejecutar operaciones topográficas para la mayor facilidad y exactitud de dichas operaciones.”

Este libro también es muy completo, como el de Carderera, ya que además de las escalas de la regla Moinot incluye una tabla gráfica y tablas taquimétricas.

Avilés Arnau (1890) [11]

Cita las obras de sus antecesores (Clavijo, Carderera y Bárcena) refiriéndose a ellos como los precursores de la propagación en España del método taquimétrico.

Este libro, con un formato ‘de bolsillo’, sin explicaciones teóricas ni ilustraciones, es esencialmente un manual práctico para la utilización de este método. La regla logarítmica de Moinot y la manera de utilizarla están descritas con bastantes detalles pero sin ninguna representación gráfica.

García Cifré (1904) [12]

Libro editado cuatro veces entre 1904 y 1943. Tuvo mucho éxito en todas las escuelas de ingenieros debido a sus claras explicaciones relativas al manejo de las reglas de cálculo.

La regla de Moinot figura desde la primera edición con una detallada presentación de su funcionamiento, la regla esta reproducida en una lámina del libro.

Suárez Inclán (1908) [13]

Este extenso tratado de Topografía de 676 páginas acompañado de un álbum de 52 láminas (478 figuras) dedica unas 100 páginas a la taquimetría, incluyendo la regla Moinot.

El libro no contiene ninguna tabla taquimétrica pero cita las de Salmoiraghi, Bárcena, Ruiz Amado y Cuartero.

Los Anexos 1-2-3 reproducen grabados de la regla de Moinot incluidos en las obras de estos autores.

Catálogos (Anexo 5)

Si el catálogo Recarte de 1860 no incluye todavía ningún instrumento taquimétrico, los de 1884, 1890 y 1901 proponen a la venta taquímetros, reglas de Richer de madera o metal y diferentes modelos de círculos logarítmicos.

El catálogo La Filotecnica de Salmoiraghi (1911), edición especial para España, presenta una ‘regla logarítmica para cálculos taquimétricos’ sin más detalles.

Los topógrafos españoles debieron conocer el Catálogo Secretan (1874) que comercializaba en Francia la regla de Moinot.

4.3 Regla Alcayde (1912)

Merece la pena citar esta regla, aunque sea más reciente, ya que a pesar de estar fabricada por un constructor extranjero (Nestler), fué inventada por un militar español D. Nicomedes Alcayde y Carvajal, según consta en el Diario Oficial del Ministerio de la Guerra de Julio 1912 [14]. Esta regla fué llamada ‘Academias Militares’, Alcayde la patentó en 1915 [15]

La característica principal de esta regla con relación a la de Moinot es la utilización para los cálculos del ángulo de pendiente α , es decir el ángulo formado por la visual del anteojo con la horizontal. Las fórmulas de Porro se convierten entonces en:

$$d = g \cos^2 \alpha \quad z = g \operatorname{sen} \alpha \times \cos \alpha$$

Las escalas de la regla Alcayde estan construidas con acuerdo a estas fórmulas, los ángulos tienen la graduación centesimal. La regla posee además las escalas clásicas de las reglas de cálculo, sistema Rietz, y mide 17 cm.

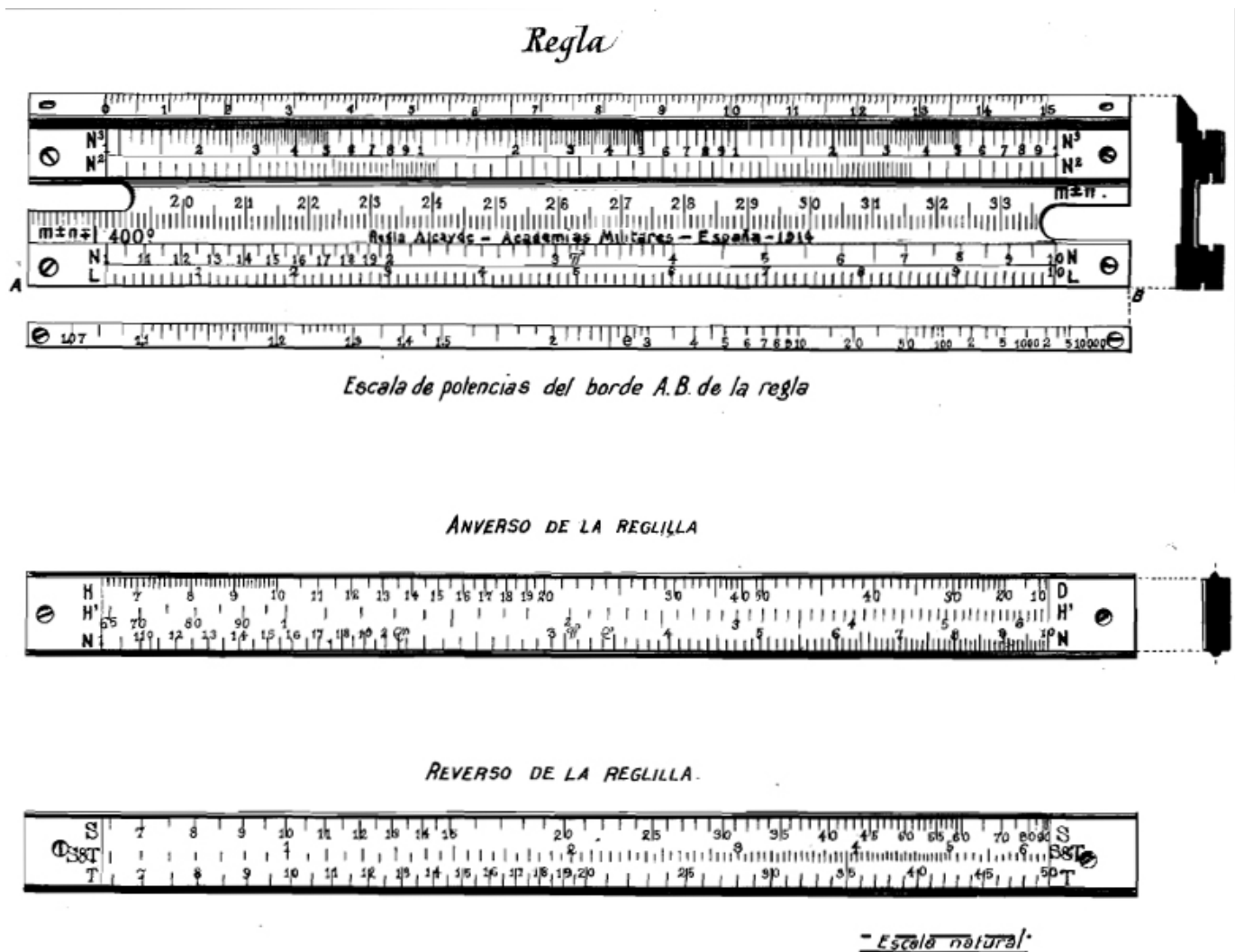


Fig 12 La regla Alcayde (Patente)

Las escalas están dispuestas de esta manera:

En la parte fija de la regla :

Escala L de logaritmos , N de los números , N² de los cuadrados, N³ de los cubos.

En el anverso de la reglilla :

- Escala H del producto $\text{sen} \times \cos$ para los ángulos de 6g 40 a 50g y la escala D de $\cos^2$ de 5g a 50g
- Escala H' del producto $\text{sen} \times \cos$ para los ángulos de 64' a 6g 40
- Escala N de los números

En el reverso están las escalas trigonométricas S, S&T y T.

Para más detalles consultar el Anexo 9 y el citado Diario Oficial [14].

4.4 Las reglas ‘Nestler’

Además de la regla Alcayde, parece ser que Nestler fabricó una regla taquimétrica de metal, de 40 cm, para el mercado español. Aparece con la referencia N° 9 a ‘Spanischer’ en el catálogo Albert Nestler de 1911/12 (Fig 13). No se conocen imágenes ni ejemplares de esta regla en los círculos de coleccionistas y expertos. (Información de Otto van Poelje – Oughtred Society).

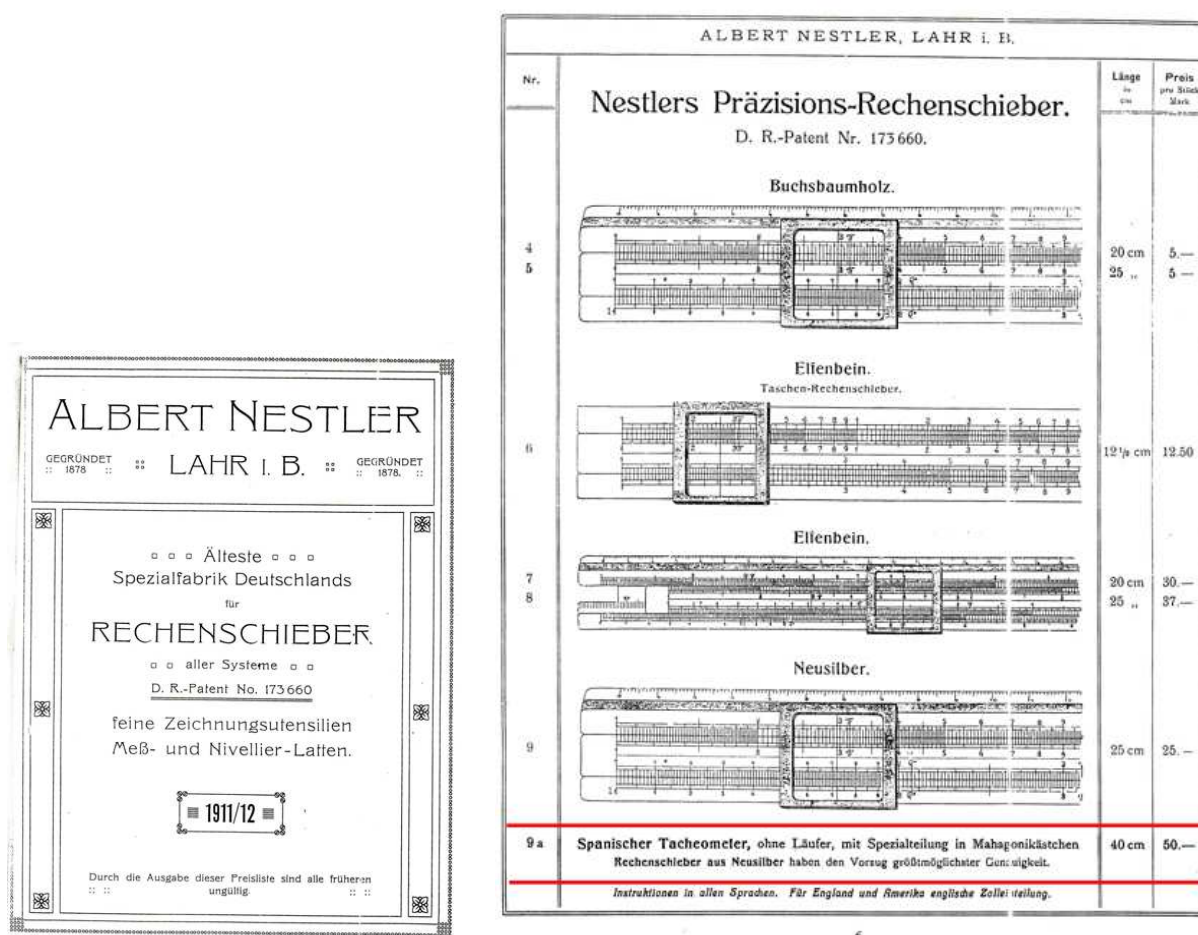


Fig 13 Regla Taquimétrica ‘Spanischer’ (Catálogo Nestler 1911/12)

La regla Nestler N°28 ‘Universal’ que tiene también las escalas $\cos^2$ y $\text{sen} \times \cos$ se vendía en España a principios del siglo XX (mencionado por Cifré) [12]. Puede ser que Alcayde se inspirara de esta regla, aparecida en 1907, para crear la suya.

4.5 Otras reglas de cálculo

Los topógrafos españoles no pudieron ignorar la existencia de la ‘regla eclímetro’ inventada por Goulier en 1875, utilizada en el levantamiento de planos con escalas pequeñas, ni la regla ‘del topógrafo’ fabricada por los constructores franceses Tavernier-Gravet y H. Morin.

Estas reglas calculan los desniveles según la fórmula $t = g \operatorname{sen} \alpha \times \cos \alpha$.

Todos los grandes constructores europeos de reglas de cálculo (Dennert & Pape, Faber Castell) vendieron en España, a principios del siglo XX, sus reglas especializadas ‘topografía’ cuyas escalas son similares a las de las reglas Alcayde y Nestler citadas. [16]

4.6 Círculos logarítmicos

Porro indica en su libro la posibilidad de dibujar sus escalas en una regla de cálculo de forma circular, sabemos que un círculo con el mismo diámetro que la longitud de una regla tiene las divisiones de las escalas más grandes; por ejemplo en el círculo Ruiz Amado, con un diámetro de 39 cm, los espacios entre los trazos son seis veces más grandes que en una regla de 40 cm.

Esta disposición circular de la regla es muy útil para los ingenieros topógrafos, las escalas están dibujadas en circunferencias concéntricas y distribuidas entre un disco fijo y otro móvil, ambos con el mismo centro; llevan por lo menos un cursor en el sentido del radio.

Regla circular Porro (1858)

Una regla circular ‘Porro’ de 16 cm de diámetro figura en el catálogo de Salmoiraghi y también en los catálogos de Recarte (Anexo 5); Cifré habla de esta regla circular en su libro.

Círculo de Carderera (1877)

Carderera indica las escalas que se pueden grabar en un círculo de cálculo, lo imagina formado por dos círculos concéntricos que giran alrededor del eje y una alidada o cursor en el sentido del radio.

La corona externa llevaría la escala de partes iguales y la escala de números en dos circunferencias concéntricas.

El disco interno a la corona tendría diferentes escalas: la más externa sería la escala de senos y cosenos (de 10 a 100g) más la escala de los sen^2 , seguiría la escala de senos y cosenos (1g a 10g). En otra circunferencia estarían las tangentes (1g a 50g) y el círculo más cercano al centro soportaría los senos y tangentes de los ángulos pequeños inferiores a 1g.

Círculo de Ruiz Amado (1888)

Fué construido por la Casa Rosell de Barcelona y muy conocido en su época, la Revista de Obras Públicas dedicó varios artículos para explicar su funcionamiento [17].

Suarez Inclán y Avilés Arnau mencionaron este círculo en sus obras; Cifré ya lo incluyó en la primera edición de su libro y siguió apareciendo en la cuarta edición (1943) con amplias explicaciones.

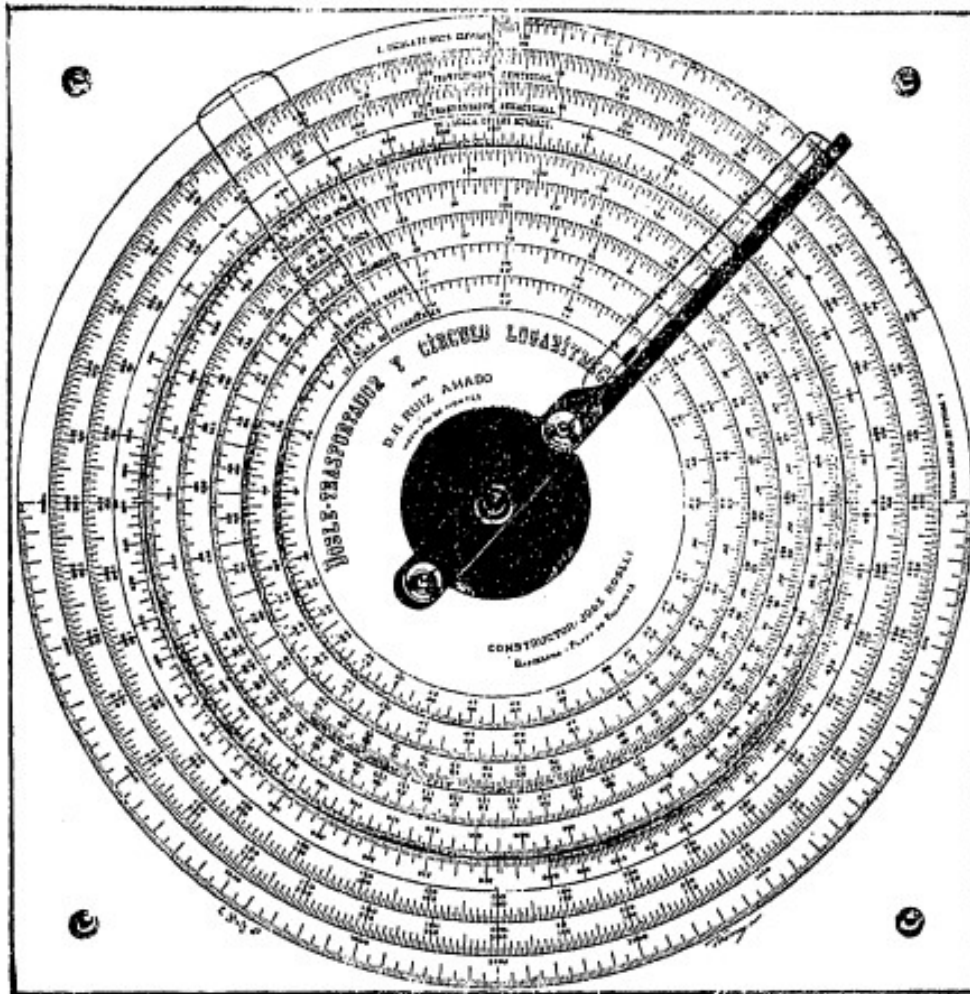


Fig 14 Círculo taquimétrico Ruiz Amado (Revista Obras Públicas 1892)

El círculo está constituido de una parte fija de 39 cm de diámetro y una parte móvil que gira alrededor del centro común a ambas.

Las escalas de Porro están distribuidas como sigue (Anexo 6)

En la parte fija:

Corona 1: tiene la escala de sen^2 para los ángulos de 100g a 60g ocupando un cuarto del círculo y la escala de partes iguales (0 à 5000) desarrollada sobre dos cuartos del círculo.

Corona 2 : transportador sexagesimal.

Corona 3 : transportador centesimal.

Corona 4 : escala de los números (100 a 1000).

Dentro del círculo fijo gira un disco que lleva cinco coronas concéntricas :

Corona 5 : escala de los números, idéntica a la corona contigua 4

Corona 6 : escala de senos (6g 37 a 100g).

Corona 7 : escala de cotangentes (106g 35 a 150g)

Corona 8 : escala de senos (0g 64 a 6g 37).

Corona 9 : escala de cotangentes (100g 64 a 106g 35)

Un cursor y una alidada en el sentido del radio completan el instrumento.

Se utilizan las mismas fórmulas de Porro que las utilizadas con la regla de Moinot.

Círculo de Suarez Inclán (1908)

Este autor menciona la regla circular de Porro y hace una descripción somera de un círculo de cálculo parecido al de Carderera.

Círculo del Instituto Geográfico Nacional (c.1910)

La colección de instrumentos topográficos del IGN [18] conserva un 'círculo logaritmico' de fabricante desconocido, realizado hacia 1910.

Consta este círculo (Fig 15) de una corona metálica fija de 40 cm de diámetro exterior. Dentro de esta corona gira un disco cuyo diámetro de 34,8 cm es idéntico al interno de la corona.

Encima del disco hay un anillo solidario de una reglilla, en el sentido del radio, de longitud superior a éste. La reglilla puede girar alrededor del mismo eje.

La corona fija lleva 3 escalas circulares concéntricas que son, del exterior hacia el interior: la de partes iguales, la de números (E) y una segunda de números (I), estas dos escalas de números tienen sus orígenes diametralmente opuestos.



Fig 15 Círculo del IGN

El disco móvil está dividido en dos partes iguales correspondientes a los valores trigonométricos, sexagesimales y centesimales, de los ángulos de pendiente (complementarios de los zenitales).

Las escalas circulares concéntricas del disco son, del centro hacia el exterior:

- Cuadrantes sexagesimal y centesimal
- Escala de constantes (π , 2π , 3π , $\dots 1/\pi$, $\dots \pi^2$, $\dots 4/3\pi$ etc.)
- Escala de números
- Escalas de senos
- Escalas de tangentes
- Escala de $\cos^2$

La reglilla, que puede girar libremente o ser solidaria del disco, es una pieza de metal con una parte plana y dos biseles en contacto con el disco, cada bisel esta dedicado a una de las dos graduaciones del círculo (sexagesimal y centesimal) con indicaciones enfrente de cada escala; en la parte central y enfrente de cada escala tenemos una serie de abreviaciones (CONS, NUM, SENOS, COS, NUM I, ..) que sirven para recordar el uso de la escala correspondiente que se encuentra debajo de la reglilla.

Círculos del Instituto Geográfico y Catastral Madrid (c. 1930)

Se trata de círculos de cartón y celuloide con las escalas apropiadas para los cálculos taquimétricos. (Vease Anexo 7).

El instrumento se presenta como un libro de carton de 25 x 25 cm; cuando está abierto encontramos el círculo de cálculo en la parte derecha y las instrucciones de uso en la parte izquierda. Existen en graduación sexagesimal o centesimal. (Fig 16)

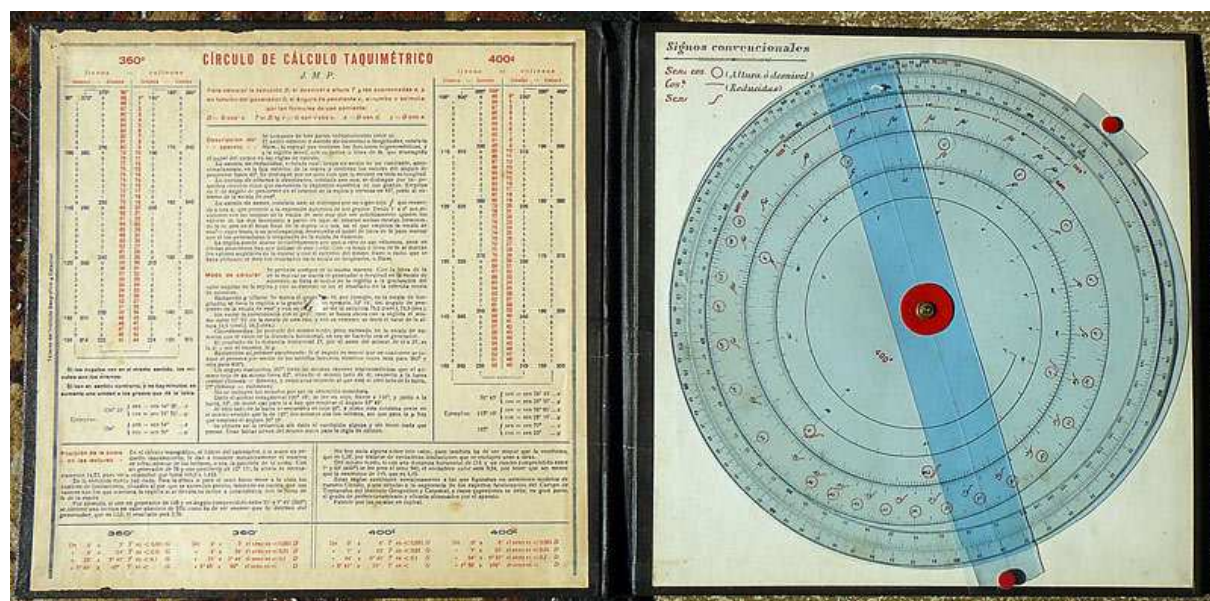


Fig 16 Círculo de cálculo Taquimétrico J.M.P.

En el Círculo J.M.P. (fig 16) las escalas de los números están en el círculo externo fijo y también en el círculo móvil colindante,

El disco móvil lleva además una segunda escala concéntrica con los $\cos^2$ que comparten la misma circunferencia con la escala $\text{sen} \times \cos$. La última escala en espiral lleva los valores de los **senos**.

El círculo reductor taquimétrico (Fig 17) es otro tipo de círculo que sirve únicamente para calcular la distancia reducida al horizonte y el desnivel con relación al número generador y al ángulo de inclinación. Esta regla existe con las graduaciones 360° o 400g

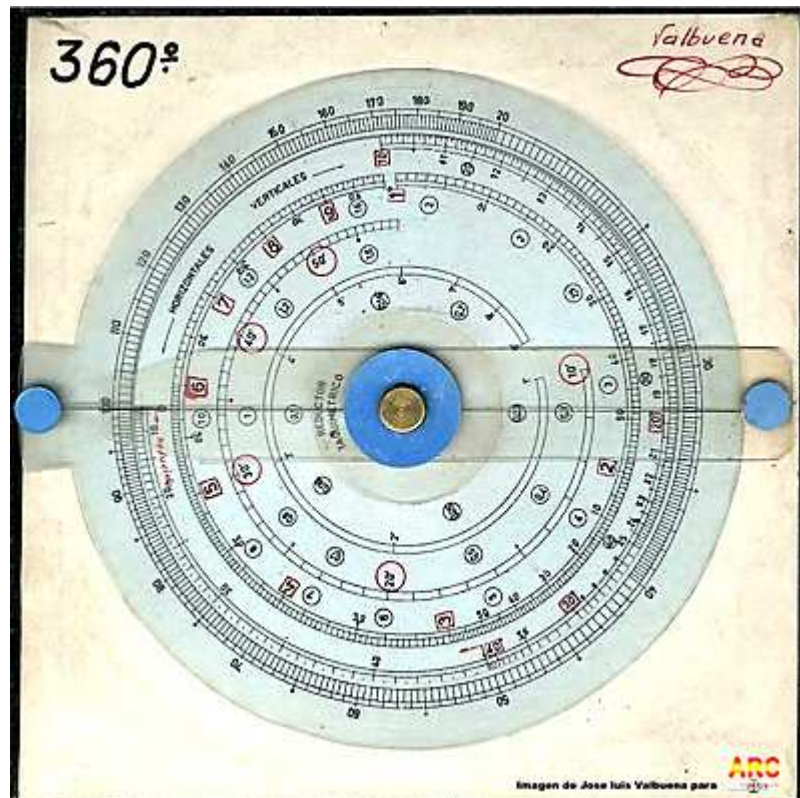


Fig 17 Círculo reductor del IGC (documento ARC *)

* Amigos de las Reglas de Cálculo: <http://arc.reglasdecalculo.org/> [19]

4.7 Tablas Gráficas (Nomogramas)

Recurrir a los nomogramas fué una solución para obtener resultados más rápidos que con la regla taquimétrica cuando no se requería mucha aproximación.

Cuadro Gráfico de Carderera (1877) [8]

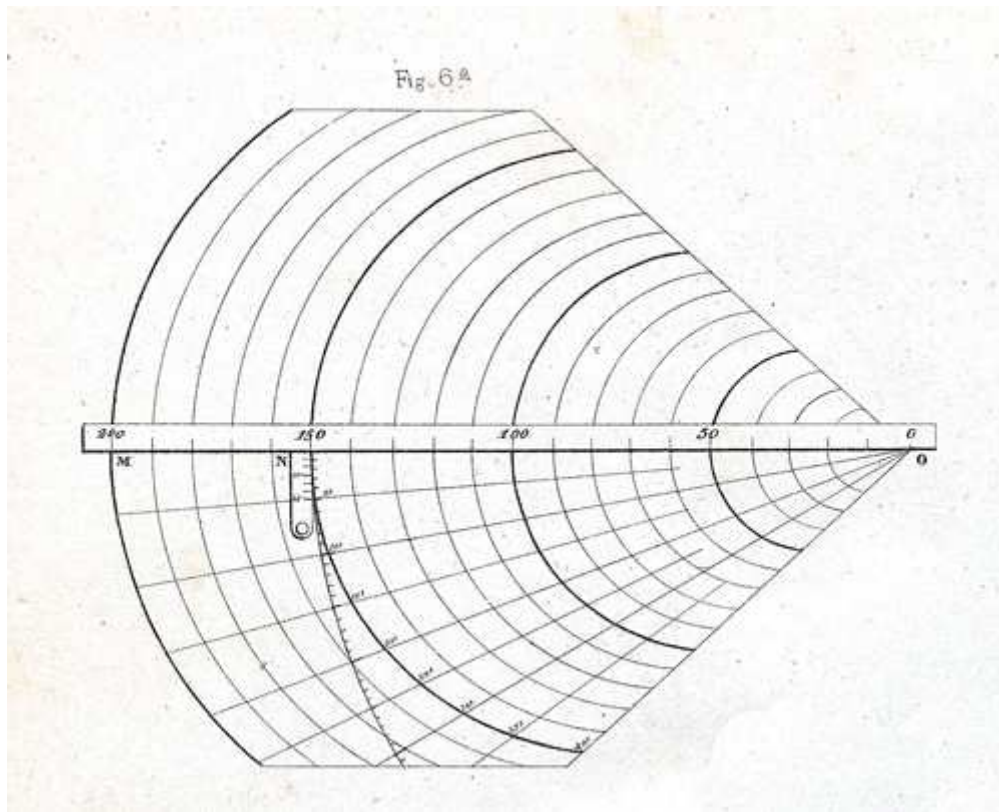


Fig 18 Cuadro Gráfico de Carderera

Carderera explica en su libro la manera de fabricar este aparato construyendo gráficamente las expresiones $d = g \sin^2 \varphi$ y $z = g \sin \varphi \times \cos \varphi$

Este nomograma calcula los valores de **d** y **z** con arreglo a **φ** et **g**.

Tablas Gráficas de Codornú (1890) [20]

De las numerosas tablas presentadas en este libro se muestra a continuación la de los valores trigonométricos de los ángulos φ y θ (Tabla III) y la que proporciona la distancia reducida y las coordenadas x , y , z (Tabla IV) (Fig 19).

TABLE III.
GRADUACIÓN CENTESIMAL.

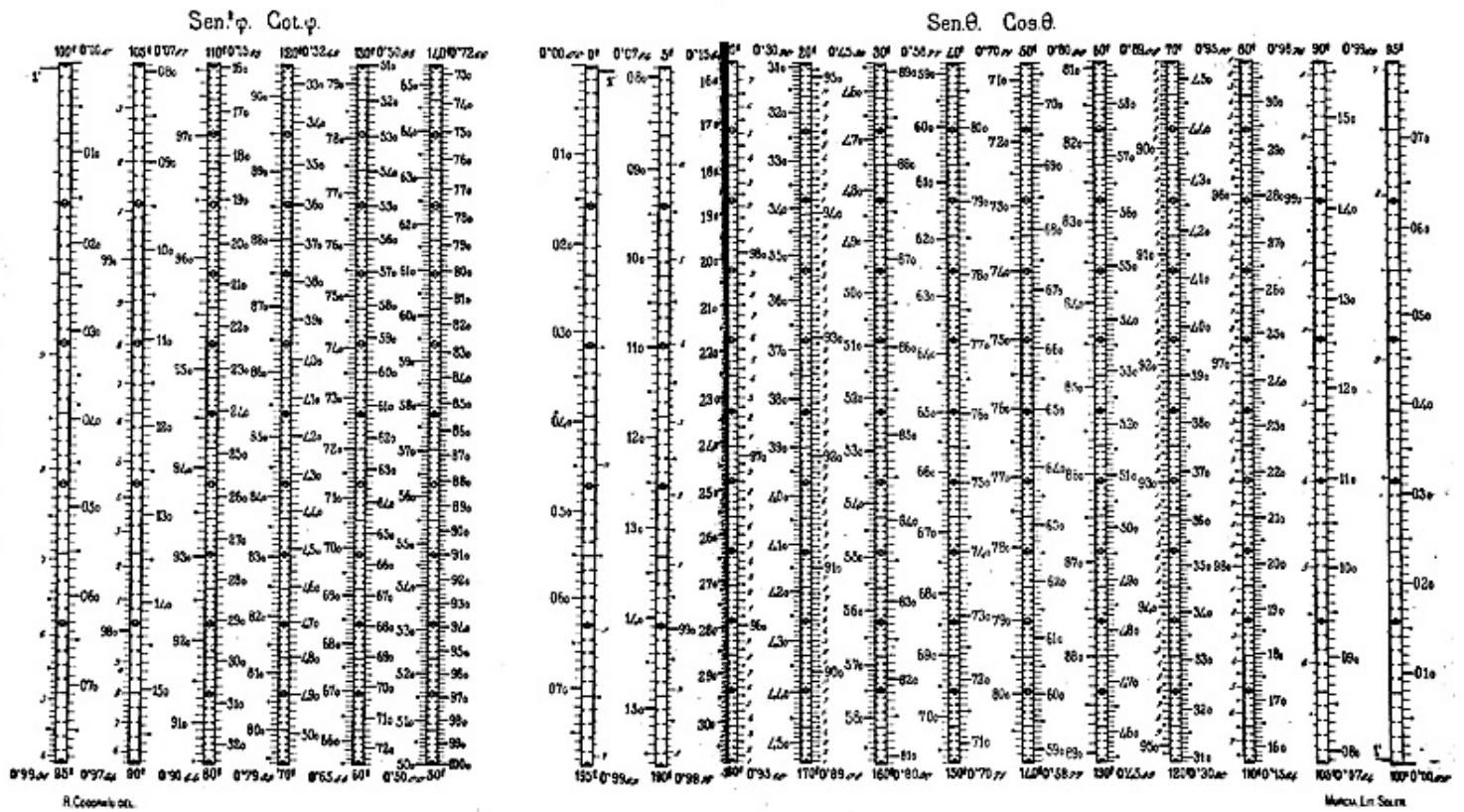


TABLE IV.
GRADUACIÓN CENTESIMAL.

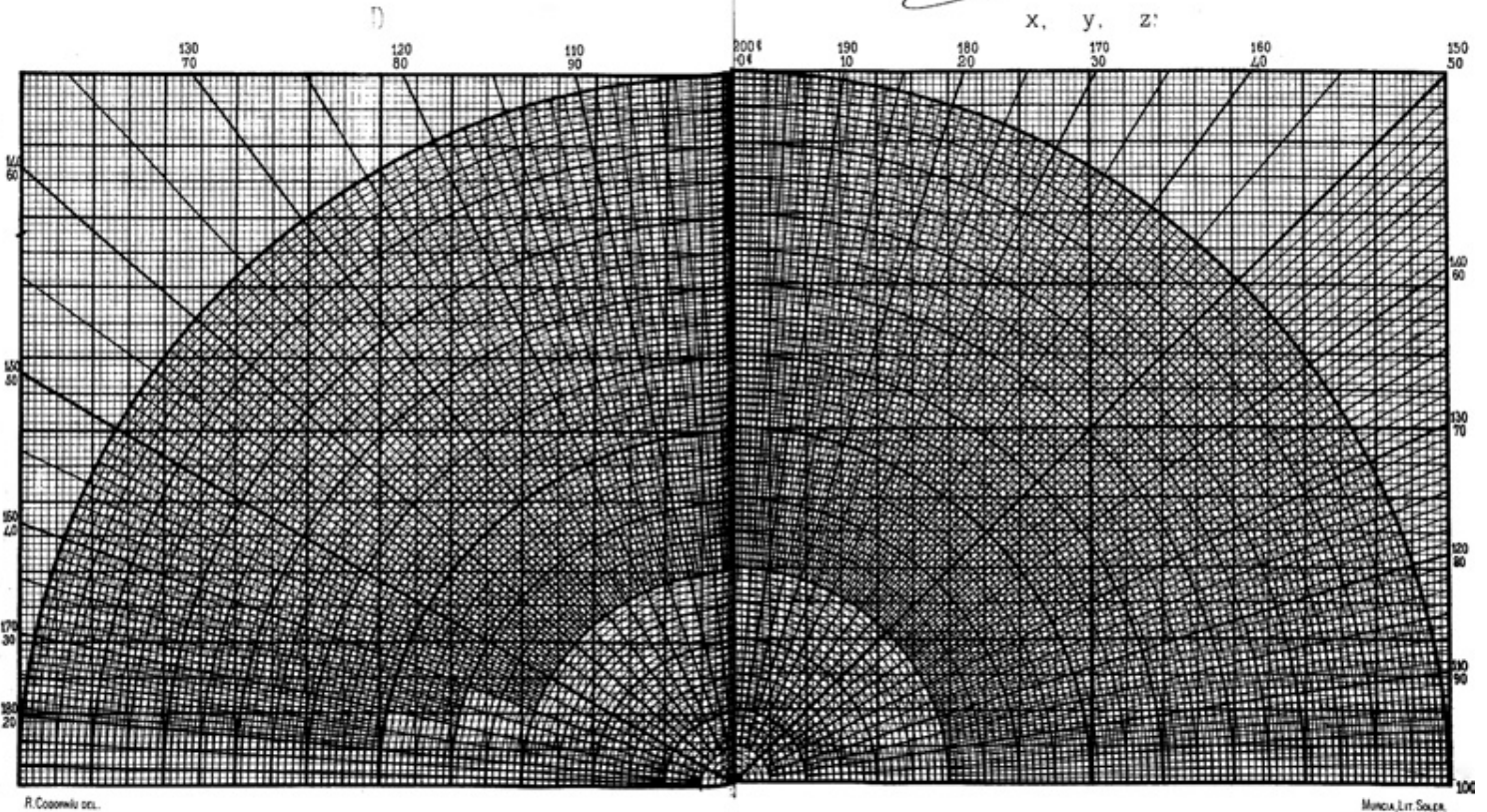


Fig 19 Tablas Gráficas por Ricardo Codornú

Tabla Gráfica de Bárcena (1899)

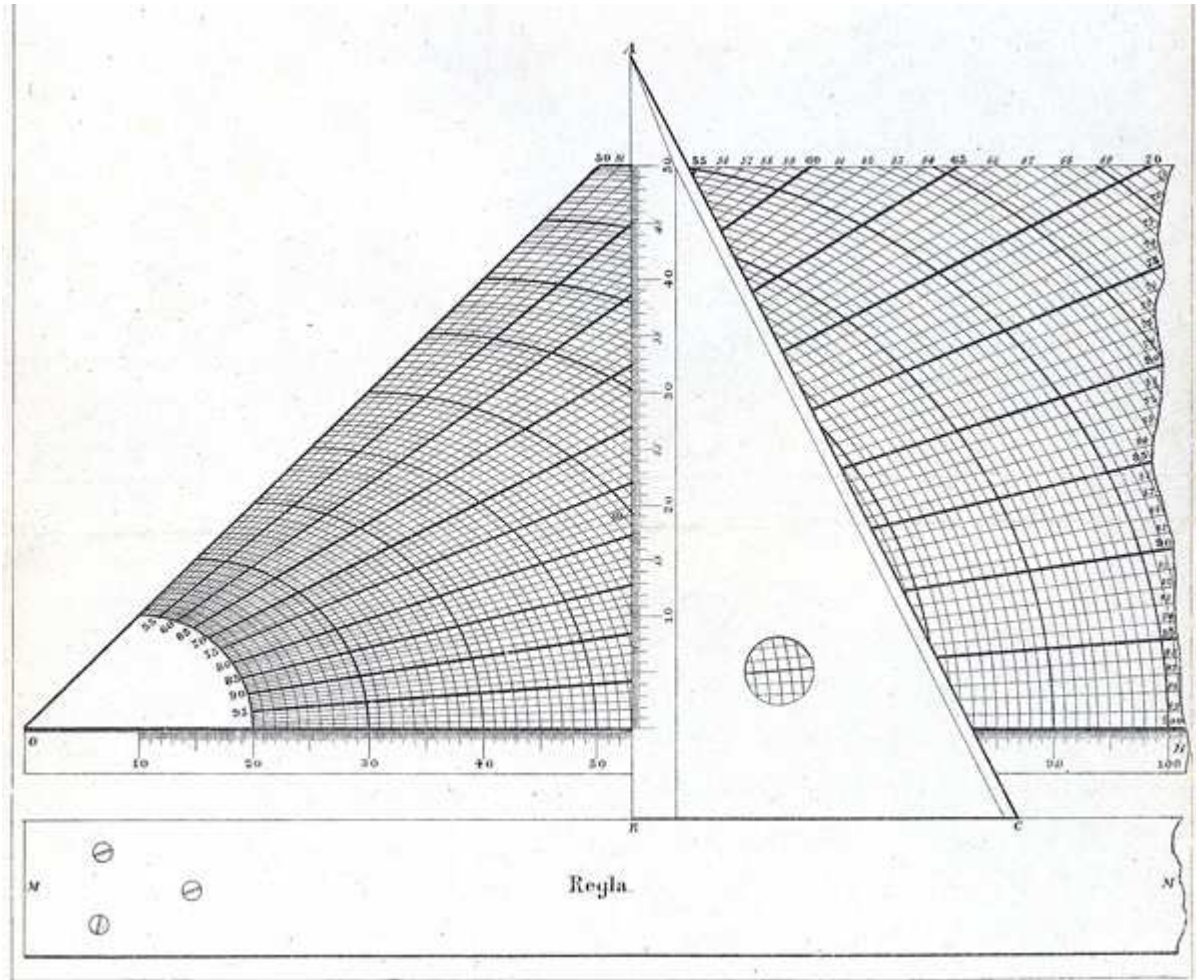


Fig 20 Tabla Gráfica de Bárcena

Se utiliza de esta manera :

Buscar la intersección entre la semicircunferencia correspondiente al valor de g con la recta que representa el ángulo ϕ , correr la escuadra hasta este punto de intersección, el valor de d se encuentra sobre el cateto AB de la escuadra y el valor de t en el eje OH.

Tabla Gráfica Taquimétrica de Más y Zaldúa (1900)

Citada por Suarez Inclán pero sin ninguna imagen en su libro.

Su funcionamiento, sin embargo, está muy detallado y es parecido al de la tabla de Bárcena.

4.8 Tablas Taquimétricas (numéricas)

Uno de los inconvenientes del uso de la regla es la fatiga visual ocasionada por la dificultad de lectura de sus pequeñas divisiones, otro inconveniente es que la regla es menos exacta en sus resultados que las tablas, sin olvidar la diferencia de precio: en 1890 las Tablas de Ruiz Amado costaban 2 pesetas contra 70 pesetas por el Círculo del mismo autor. (Anexo 5).

No es de extrañar entonces el gran número de tablas que se podían encontrar en el comercio, por ejemplo:

Tablas Taquimétricas de Carderera (1877) [8].
Tablas Taquimétricas de Cuartero (1884) [21].
Tablas Taquimétricas de Gascue (1895) [22].
Tablas Trigonómicas de Bárcena (1899) [10].
Tablas Sexagesimales de Cepero (1902) [23].

Las tablas taquimétricas utilizan los números generadores obtenidos con el taquímetro (**g** y los ángulos **ϕ** y **θ**) para dar directamente los valores numéricos de **d** (distancia reducida al horizonte), **x**, **y**, **z** o la tangente **t**, según los autores. (Anexo 8)

5 Conclusión

El método taquimétrico inventado por Porro hacia 1850 se adoptó en España con una cierta lentitud a pesar de la obra de divulgación de autores como Clavijo, Carderera, Borregón.

Según Boix la culpa la tuvo probablemente la construcción poco robusta de los primeros instrumentos y su precio elevado. Este ingeniero nos cuenta [17] como encargó a principios del año 1872 a los Sres Troughton de Londres el primer taquímetro construido para España, adaptado a las características exigidas por los ingenieros españoles.

Este aparato fué seguido por otros, encargados por la casa Recarte, contribuyendo de esta manera a la difusión y a la extensión del procedimiento taquimétrico.

Todos los autores citados en el presente artículo describen la regla inventada por Moinot con las escalas de Porro; este hecho y su presencia en los catálogos de fabricantes de instrumentos topográficos de aquella época nos indica que esta regla fué la más difundida y probablemente la única utilizada hasta principios del siglo XX.

Para paliar los inconvenientes de la regla: fatiga visual, exactitud limitada, etc. algunos autores van a crear nomogramas en forma de tablas gráficas y sobre todo tablas numéricas donde es fácil, aunque mas lento, encontrar los resultados sin ninguna operación.

Para que los ingenieros aceptaran el método taquimétrico y para remediar las desventajas del uso de la regla el ingeniero D. Hilarion Ruiz Amado inventó en 1888 su círculo de cálculo, instrumento cuyo manejo es más fácil y rápido que el de la regla.

Unos años más tarde aparece una regla que llegó a ser muy popular debido al hecho de ser obligatoria en el concurso de ingreso de las academias militares y en la enseñanza, se trata de la regla ‘Academias Militares’, definida por Alcayde en una patente de 1915.

A principios del siglo XX se añaden a las reglas que ya estaban disponibles para los topógrafos las que fabricaron los grandes constructores como Nestler, Faber, D&P...

El Instituto Geográfico inventó unas cuantas reglas taquimétricas circulares sencillas y manejables para que las utilizaran sus ingenieros, algunas de estas reglas continuaron a ser utilizadas hasta los años 1960.

Notas / Bibliografía

- [1] Annales des ponts et chaussées, 3eme série 1852, 2ème semestre, Mémoire n°38 (pages 273 à 390).
- [2] La Tachéométrie ou l'Art de lever des plans et de faire les nivellements, por J. PORRO, Victor Dalmont Editeur, Paris 1858.
http://books.google.fr/books?id=0qsWAAAAQAAJ&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- [3] Un catálogo *de los objetos que contiene* el Gabinete de Instrumentos de Topografía de la Academia de Ingenieros del Ejercito, fechado en Madrid en 1857, dice tener un Teodolito Olométrico de Porro “*instrumento con el cual el autor pone en práctica su nuevo método de levantar planos, al que llaman Taquimetría...*” (páginas 456-457)
http://www.bibliotecavirtualdefensa.es/BVMDefensa/i18n/catalogo_imagenes/grupo.cmd?path=28308
- [4] Levés de Plans à la Stadia Notes pratiques pour études de tracés, por I. MOINOT
1^{ere} édition, J. Bounnet libraire éditeur, Perigueux (1865)
2eme édition (1873)
3eme édition, Dunod Editeur, Paris (1877)
- [5] El mismo catálogo [3] indica que la Academia posee las escalas logarítmicas de Porro “*...ideadas por el autor para resolver con el compás los diferentes problemas que encierra su método, prestan gran auxilio para una aproximación primera; pero son de todo punto inutilis cuando se trata de exactitud..*”
- [6] Tratado de Topografía por D. Rafael Clavijo, Primera edición (1852), 264 paginas
Edición consultada: Tercera edición, 300 páginas, Madrid 1861, Texto y Atlas.
- [7] Sobre el empleo de la Tacheometría.. (sic), Capitulo IV, por Antonio Borregón – Manuel Baranda, Revista de Obras Públicas Tomo XX N°19, Madrid 1872.
http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1872/1872_tomoI_19_01.pdf
- [8] Taquimetría - Exposición de los métodos modernos para el levantamiento de Planos, por Don Mariano Carderera y Don Juan Alonso y Millán, Imprenta de T. Fortanet, Madrid 1877.
- [9] Regla Logarítmica su empleo como método auxiliar de cálculo, por Ramón Peironcely, Revista de Obras Públicas Tomo XXIX N° 16-17-18, Madrid 1881.
http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1881/1881_tomoI_16_01.pdf
- [10] Tratado de Taquimetría - Aplicación de la Estadia, por Don Leoncio de la Bárcena, Segunda Edición, Imprenta del Asilo de Huérfanos, Madrid 1899.
- [11] Manual Práctico de Taquimetría, por D. Juan Avilés Arnau, Imprenta “El Universo” Barcelona 1890

[12] Teoría y Manejo de la Regla de Cálculo, por José Garcia Cifré, Cuarta edición, Editorial Jose Perona, Madrid 1943.

[13] Tratado de Topografía, por Don Julian Suarez Inclán, cuarta edición, Talleres del Depósito de la Guerra, Madrid 1908, Texto y Atlas.

[14] Diario oficial del Ministerio de la Guerra, Año XXV, D.O núm 146, Martes 2 Julio 1912. Informa como el director de la Academia de Ingenieros encargó al capitán profesor D.Nicomedes Alcayde que escogiera una regla de cálculo para adaptarla a los cursos de la Academia y a las futuras necesidades de los alumnos; no encontrando ninguna de su gusto ideó la que es conocida por ‘regla Academias Militares’ siendo construida por Nestler y más tarde por el ‘Taller de Precisión de Artillería’ en Madrid.

Consúltese la página 2 del Diario Oficial:

[http://www.bibliotecavirtualdefensa.es/BVMDefensa/i18n/catalogo_imagenes/grupo.cmd?path=9217&idImagen=98123&posicion=1#search="Alcayde"](http://www.bibliotecavirtualdefensa.es/BVMDefensa/i18n/catalogo_imagenes/grupo.cmd?path=9217&idImagen=98123&posicion=1#search=)

(...bibliotecavirtualdefensa.es/BVMDefensa/i18n/catalogo_imagenes/grupo.cmd?path=9217&idImagen=98132&posicion=1#search="Alcayde")

[15] Patente 61371 del 4/12/1915, Regla de Cálculo ‘Academias Militares’.

http://www.photocalcul.com/Calcul/Regles/Notices-regles/patente_Alcayde.pdf

[16] Otto van Poelje, miembro de la Oughtred Society, ha escrito un artículo muy interesante sobre estas reglas taquimétricas recientes: <http://www.rechenschieber.org/stadia.pdf>

[17] Taquimetría - Círculo Logarítmico, por Elzeario Boix Llovateras, Revista de Obras Públicas Tomo X N° 11-12-13, Madrid 1892.

http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1892/1892_tomoX_11_02.pdf

[18] Instituto Geográfico Nacional - Colección de Instrumentos.

Agradecemos a Enrique Rojo (IGN) la ayuda prestada al facilitarnos una noticia descriptiva de este instrumento.

<http://www.ign.es/ign/layoutIn/museoInstrumentoso.do?codigoInstrumentoso=149>

[19] ARC es la única asociación en lengua española de coleccionistas de reglas de cálculo e instrumentos afines.Consulten el foro <http://arc.reglasdecalculo.org/index.php?action=forum>

[20] Tablas Gráficas Logarítmicas y de líneas trigonométricas, por Ricardo Codornú y Stárico, Cartagena 1890.

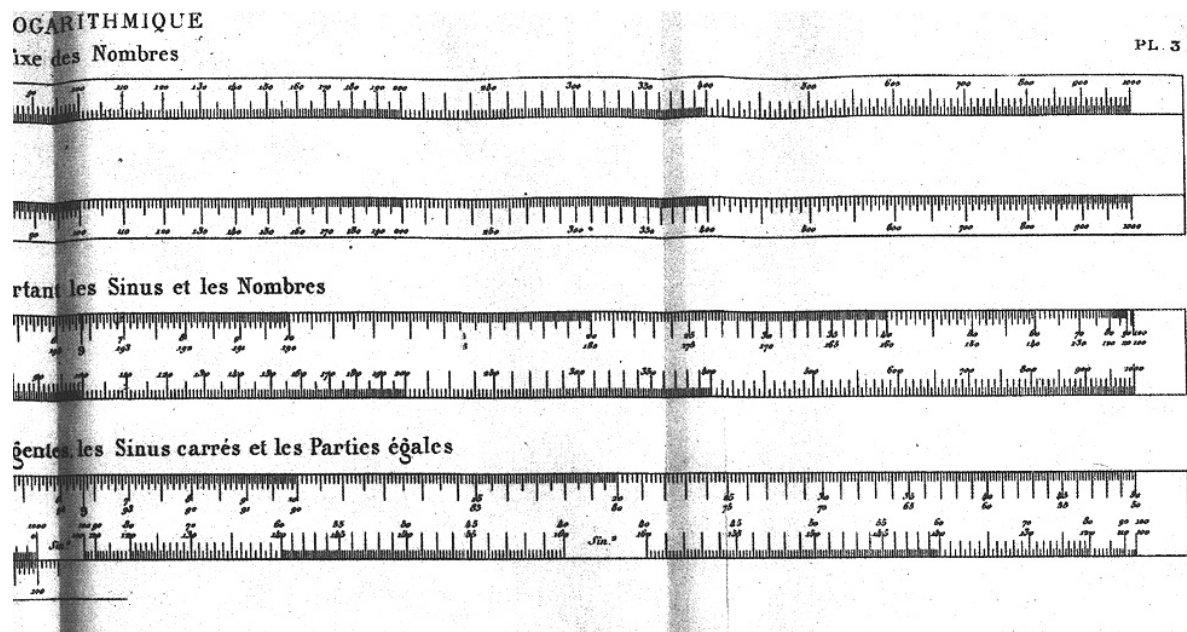
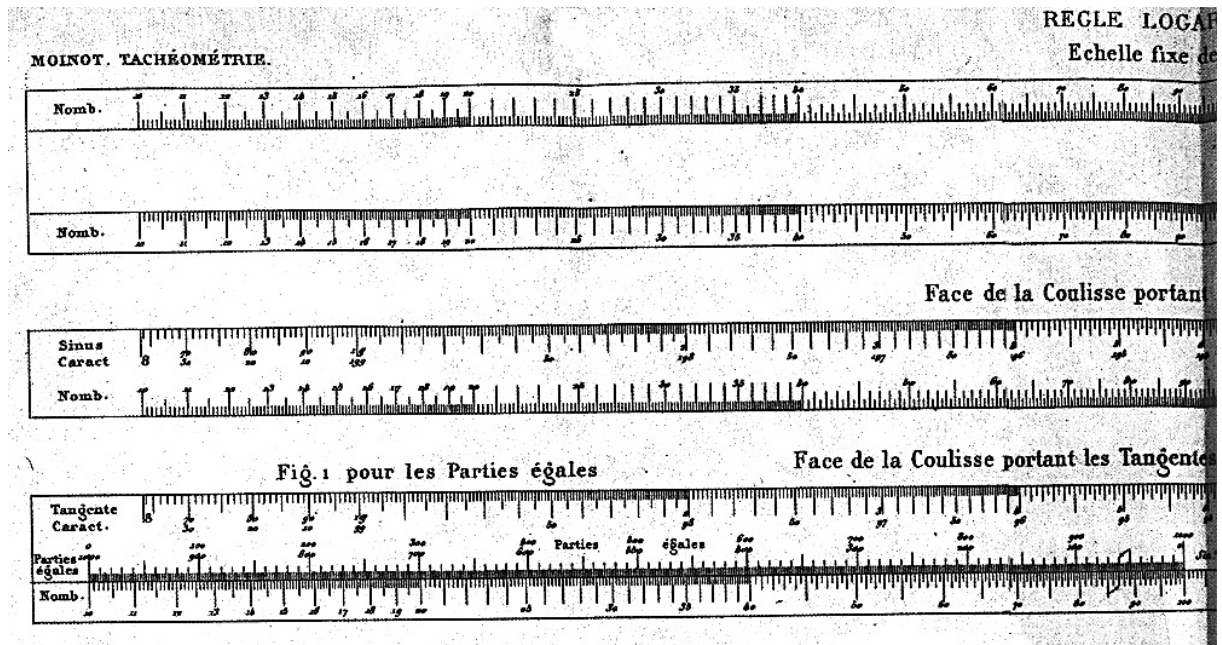
[21] Tablas Taquimétricas conteniendo las distancias reducidas y las tangentes, por J.J. Cuartero, Imprenta J. Peralos, Madrid 1884.

[22] Tablas Taquimétricas Sexagesimales y centesimales de bolsillo, por F. Gascue, Editorial Bailly-Bailliere e hijos, Madrid 1895.

[23] Tablas sexagesimales de coordenadas rectangulares, por Adolfo López Cepero, Imp. Asilo Huérfanos, Madrid 1902.

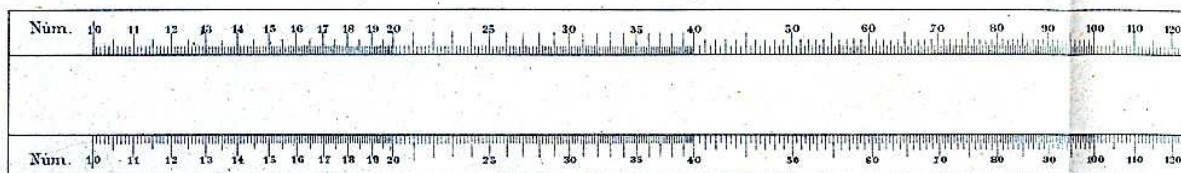
ANEXOS

Anexo 1 La regla logarítmica por I. Moinot



Anexo 2 La regla logarítmica por Suarez Inclán

Fig^a 430



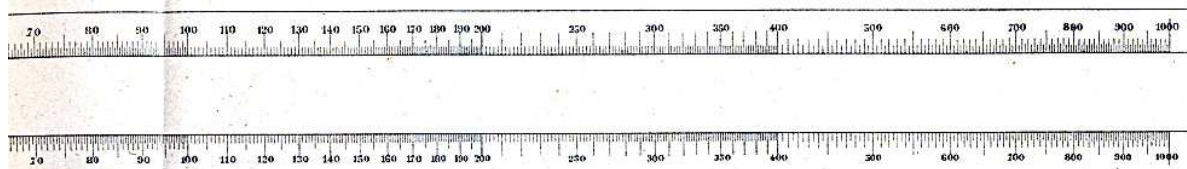
Fig^a 431



Fig^a 432



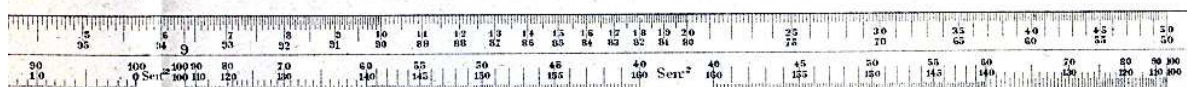
Fig^a 430



Fig^a 431

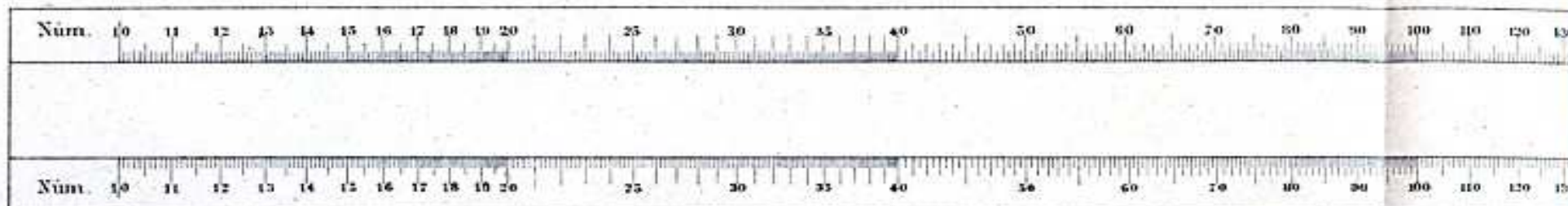


Fig^a 432

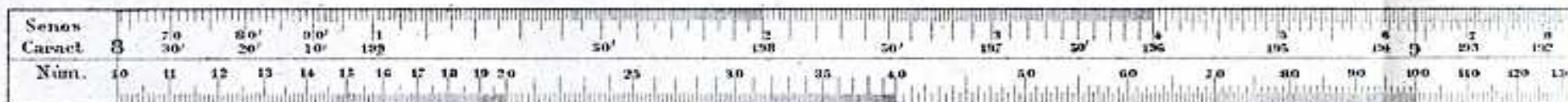


Anexo 2 : Detalle de la regla Suarez Inclán

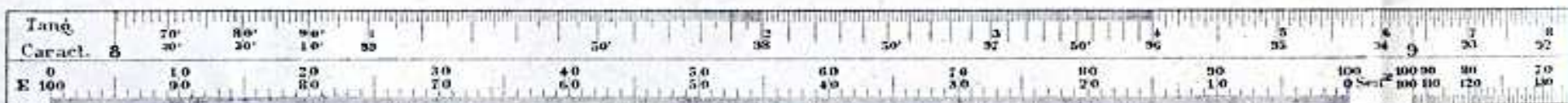
Fig^a 430



Fig^a 431



Fig^a 432



Anexo 3 La regla logarítmica por Ramón Peironcely

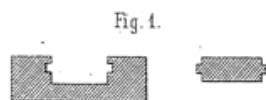


Fig. 1.

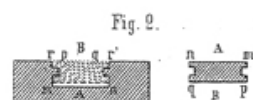


Fig. 2.

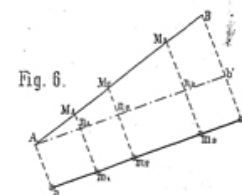


Fig. 6.

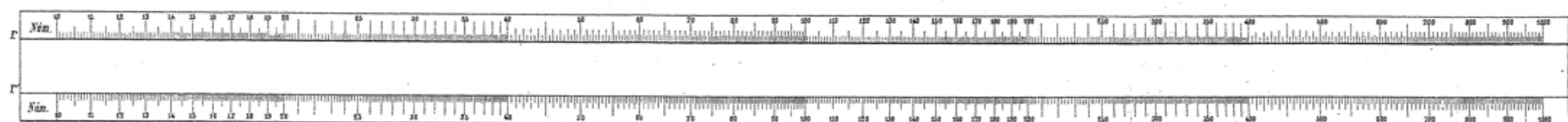


Fig. 3.
REGLA.

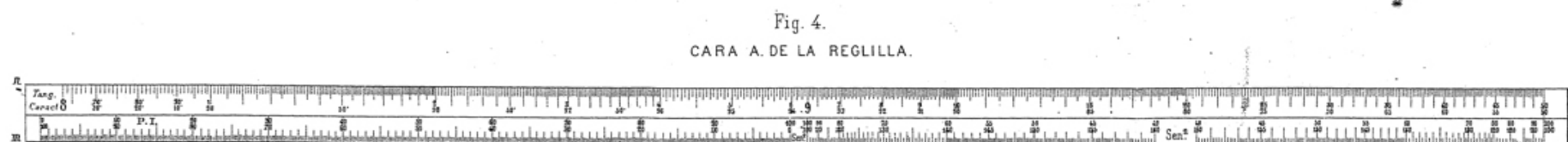


Fig. 4.
CARA A. DE LA REGLILLA.

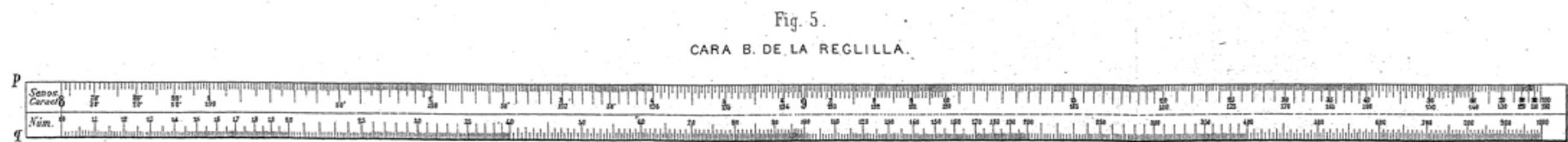
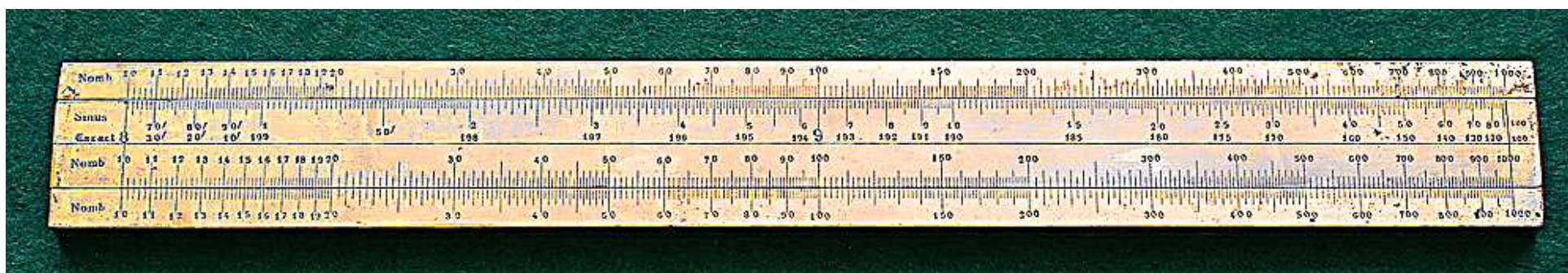
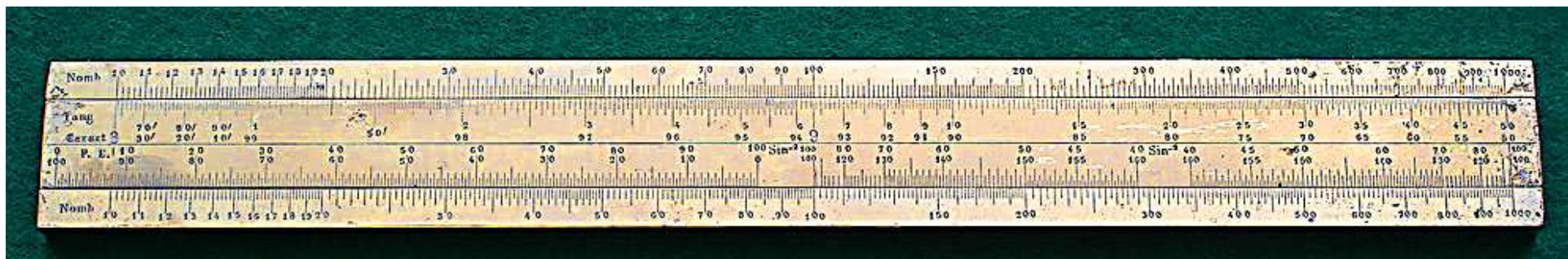
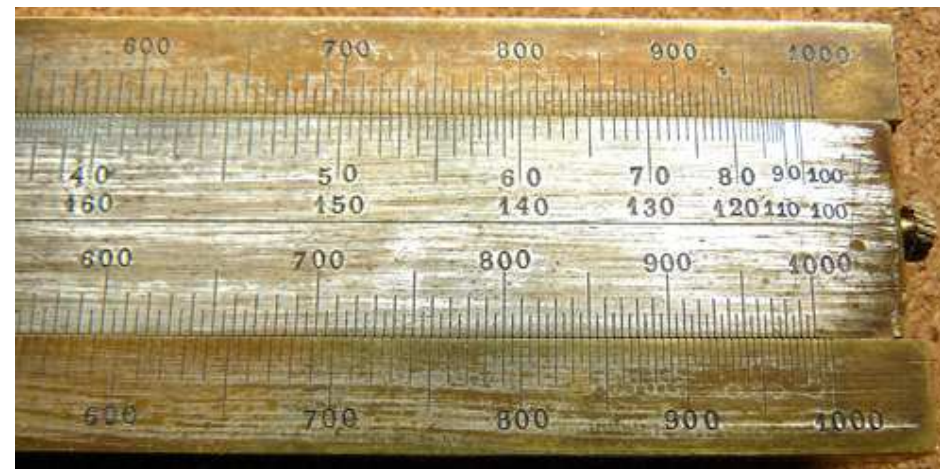
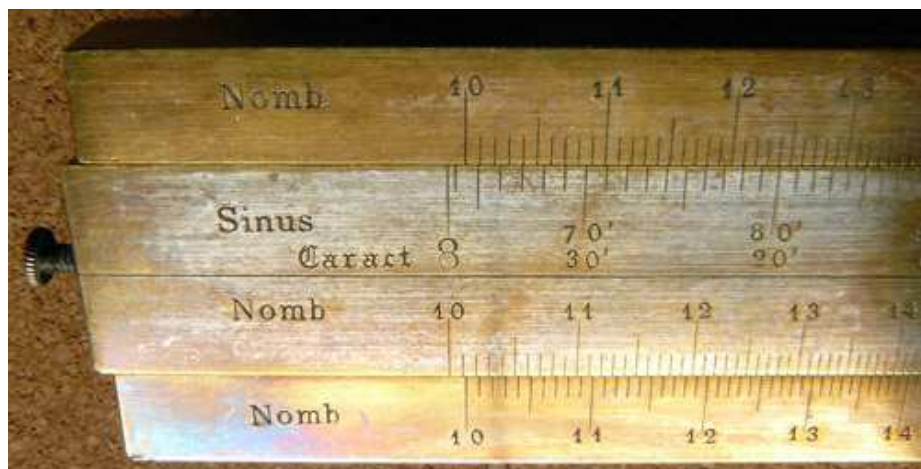


Fig. 5.
CARA B. DE LA REGLILLA.

Anexo 4 La regla logarítmica Richer – Moinot 25 cm (imágenes de Daniel Toussaint www.linealis.org)



Regla logarítmica Richer-Moinot 40 cm



Otras imágenes de esta regla : http://www.photocalcul.com/Calcul/Regles/Autres/photo_RhicherMoinot.html

Anexo 5

Catálogos de 'Recarte', de 'La Filotecnica' y de 'Secretan'

(c. 1884)

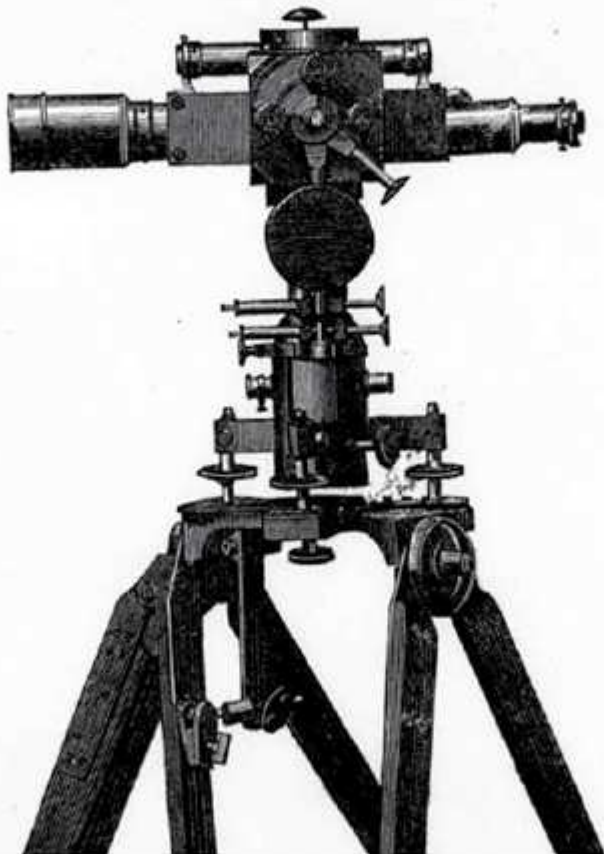
RECARTE.

LOBO, NÚM. 8, MADRID.

~~~~~

## TAQUIMETRÍA.

~~~~~



152	Id. id. de cartulina; docena.	7
REGLAS LOGARÍTMICAS.		
153	Regla logarítmica de boj.	70
154	Id. de marfil.	117,50
155	Id. de metal.	115
156	Círculo logarítmico de Salmoiraghi, con instruccion y tablas.	40
157	Id. de Sonne, de 8 y 12 cm.	40 y 45

NUEVO CATÁLOGO ILUSTRADO

DE

RECARTE HIJO

S. ECHEGARAY, S

(ANTES LOBO)

MADRID—Teléfono núm. 1.202

—

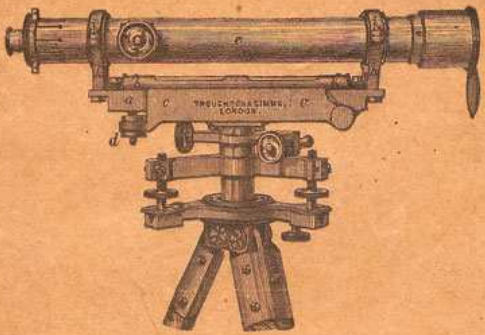
INSTRUMENTOS

DE TOPOGRAFÍA, GEODESIA, ÓPTICA Y ELECTRICIDAD; DE MATEMÁTICAS, FÍSICA Y QUÍMICA; DE MINERÍA; DE GUERRA Y MARINA, ETC., ETC.

Y

EFFECTOS Y ÚTILES

para Delineación y Dibujo; para Escritorio; para Campaña, Exploraciones y Agotamientos, etc., etc.



MADRID

IMPRENTA DE JOSÉ PERALES Y MARTÍNEZ

12, Calle de la Cabeza, 12

1890

DE LA CASA RECARTE, HIJO		51
NÚMERO	PESETAS	
Instrumentos de cálculo		
<i>Reglas de cálculo ó logarítmicas</i>		
368—Pequeña regla de boj, largo 25 cm., con escalas de números, cuadrados, senos y tangentes para división sexagesimal. Sin caja.	8'50	
369—Como la anterior, con corredera indicatriz.	12	
370—La misma con escalas sobre celulóide.	14'25	
371—Regla de Richer, de peral y boj, largo 40 cm., con escalas de números, senos y cosenos, partes iguales, tangentes y cotangentes, dos escalas en sentidos contrarios de senos y cosenos cuadrados, para división centesimal. En caja de madera.	50	
372—Como la anterior con escalas sobre celulóide.	72	
373—De metal blanco, y lo demás como las anteriores. En estuche de piel.	90	
374—De madera y escalas sobre marfil con las mismas divisiones que las anteriores. En caja de madera.	100	
375—Idem sistema Brix, de boj, largo 35 cm. Esta regla lleva un índice á corredera con barras cilíndricas de vidrio que, apoyándose sobre la regla obran como lentes de aumento, lo que permite leer las graduaciones con notable facilidad y exactitud. Escalas de números, cuadrados, senos, tangentes y partes iguales para división sexagesimal. Sin caja.	60	

CATÁLOGO GENERAL		52
NÚMERO	PESETAS	
376—Idem id. Le Brun, de metal blanco mate, largo 40 cm., con corredera indicatriz de metal.	190	
Esta regla contiene tres reglillas con las siguientes divisiones: una de números, raíces cuadradas, raíces cúbicas, logaritmos, tangentes y senos para división sexagesimal; otra, con senos, tangentes y correcciones de nivel para división centesimal, y una tercera para el cálculo de terraplenes y desmontes, que contiene números, logaritmos de $i = \frac{R-p}{t}$; $i = t - p$, para todos los valores de p y los particulares de $t = 0'667; 1'00; 1'50; 2'00; 3'00; 4'00; 5'00; 6'00; 7'00; 8'00; 9'00$ y varios multiplicadores en las tres reglillas, necesarios y frecuentes, como, por ejemplo, el indispensable para reducir grados de una á otra división, cuyos usos pueden comprender los que lean la memoria del autor. En estuche de piel.		
<i>Círculos logarítmicos</i>		
377—De Salmoiraghi, unidad logarítmica de 50 cm. de longitud, con instrucción, tabla de los valores naturales de las funciones circulares, con arreglo á la división centesimal, con el que se hacen todos los cálculos taquimétricos con exactitud hasta la 4.ª cifra. En estuche de piel.	40	
378—De Sonne, de 8 cm. diámetro.	40	
379—De Ruiz Amado.—Este instrumento de 145 mm. de radio, tiene varias escalas fijas y móviles, muy claras, que permiten hacer todos los cálculos taquimétricos con rapidez, facilidad y exactitud. En estuche y con instrucción para su uso.	70	

CATÁLOGO DESCRIPTIVO ILUSTRADO
DE LA

CASA RECARTE HIJO

ALMACÉN
ECHEGARAY, 8 VENTA AL POR MENOR
Carrera de San Jerónimo, 15.

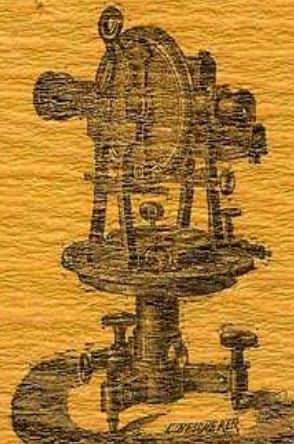
MADRID.—Teléfono 1.202

POR

EUSEBIO SÁNCHEZ Y LOZANO

INGENIERO DE MINAS

Instrumentos de Topografía, Geodesia, Óptica y Electricidad; de Matemáticas, Física y Químicas; de Minería, de Guerra y Marina, etc., etc., y efectos útiles para delineación y dibujo; para escritorio; para campaña, exploraciones y agotamientos, etc.



MADRID
IMPRESA DE SAN FRANCISCO DE SALES
Paseo de la Alhambra, núm. 1
1901

PRECIOS DE LAS REGLAS DE CÁLCULO

Núms.	Pesetas.
320 Regla de Richer, de peral y boj, largo 40 centímetros, con escalas de números, senos y cosenos, partes iguales, tangentes y cotangentes, dos escalas en sentidos contrarios de senos y cosenos cuadrados para división centesimal. En caja de madera.....	50
321 Como la anterior con escalas sobre celuloide.....	72
322 De metal blanco, y lo demás como las anteriores. En estuche de piel.....	90
323 De madera y escalas sobre marfil con las mismas divisiones que las anteriores. En caja de madera.....	100
324 Pequeña regla de boj, largo 25 centímetros, con escalas de números, cuadrados, senos y tangentes para división sexagesimal. Sin caja.....	8,50
325 Como la anterior, con corredera indicatriz.....	12
326 La misma con escalas sobre celuloide.....	14,25

Estos precios varían según los cambios, conforme se expresa en la nota de la página VIII.

CÍRCULO LOGARÍTMICO

Otra de las modificaciones de la escala logarítmica, conocida también por el nombre de escala de Gunter ó regla de cálculo, ha sido la disposición circular de las mismas divisiones trazándolas sobre el borde de un círculo.

Leyendo á simple vista se consigue una aproximación, con la regla ó el círculo logarítmicos, de un centímetro para las x y de un decímetro para las x ó y , suficiente en general para los cálculos taquimétricos, no sólo en lo que se refiere á los puntos del detalle si que también para los vértices de la base de operaciones.

El cansancio de la vista á causa de las diminutas divisiones de la regla logarítmica lo evita el círculo logarítmico, puesto que siendo su diámetro igual á la longitud de la regla de cálculo, resultan las divisiones amplificadas 6,25 veces.

PRECIOS DE LOS CÍRCULOS LOGARÍTMICOS

Núm.	Pesetas.
327 De Salmoiraghi, unidad logarítmica de 50 centímetros de longitud, con instrucción; tabla de los valores naturales de las funciones circulares, con arreglo á la división centesimal, con el que se hacen todos los cálculos taquimétricos con exactitud hasta la 4. ^a cifra. En estuche de piel.....	40
328 De Ruiz Amado.—Este instrumento de 145 milímetros de radio, tiene varias escalas fijas y móviles, muy claras, que permiten hacer todos los cálculos taquimétricos con rapidez, facilidad y exactitud. En estuche y con instrucción para su uso.....	70

Estos precios varían según los cambios, conforme se expresa en la nota de la página VIII.



Círculos y reglas logarítmicas

198. Círculo logarítmico

De 16 cm. de diámetro aprox.; de metal niquelado; instrumento que sirve para hacer espeditamente todos los cálculos de las operaciones de celerimensura, en estuche de madera, forrado de tafílete, con instrucciones y tablas

Nota. Véase: Salmoiraghi, *Cercle logarithmique* y tablas anexas de los valores naturales de la funciones circulares (precio . . .).

199. El mismo

Con graduación en plata

200. Regla logarítmica

Para cálculos taquimétricos, preparada de manera que en una sola posición de la corredera, se obtiene la proyección al horizonte y la cuota

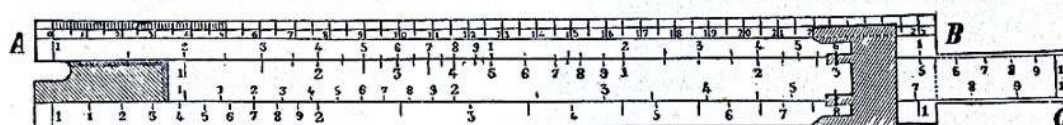
203. Regla logarítmica

Común, de madera de boj, 26 cm.

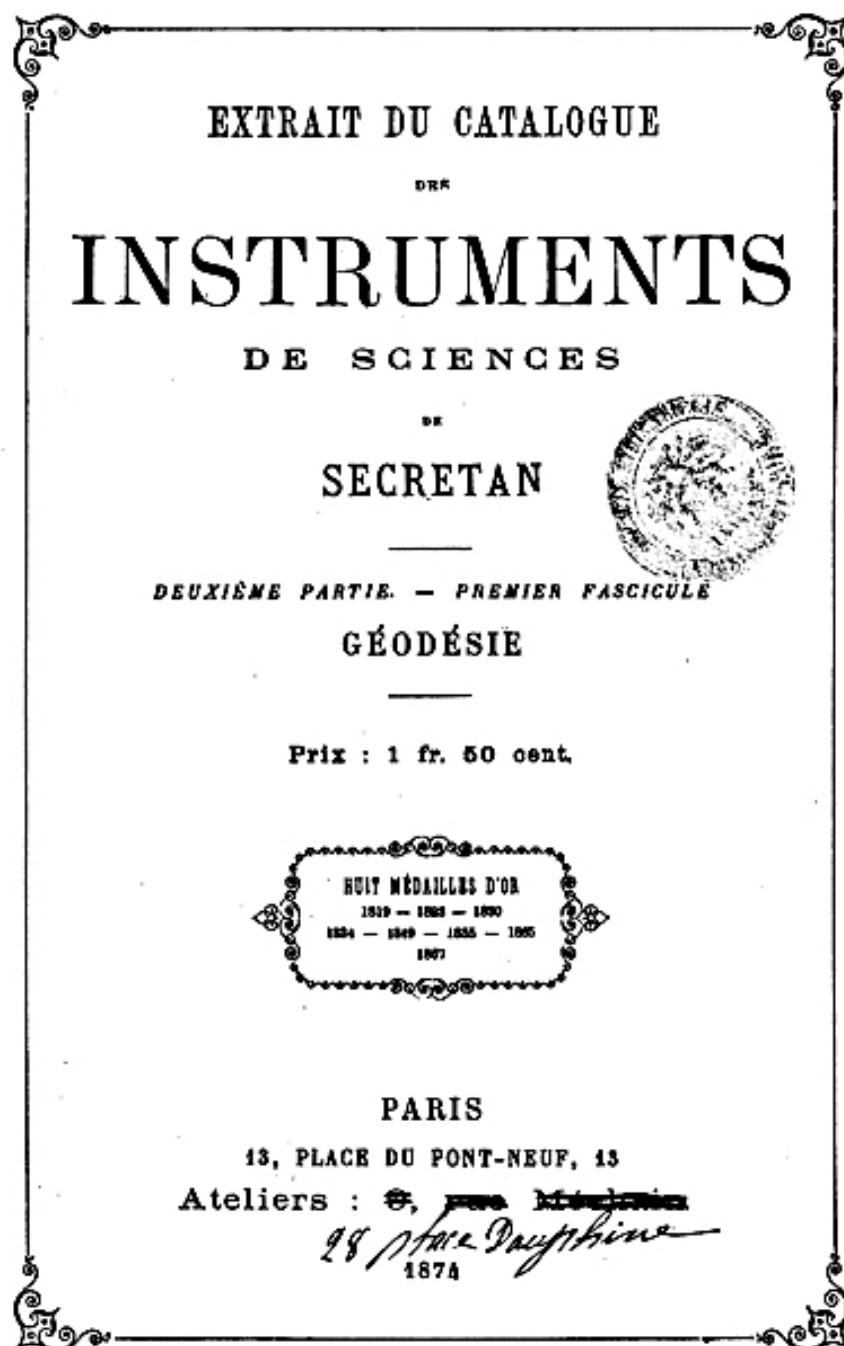
204. Regla logarítmica Beghin

Nuevo modelo especial que permite mayor aproximación y prontitud en los cálculos

Instrucción para la misma

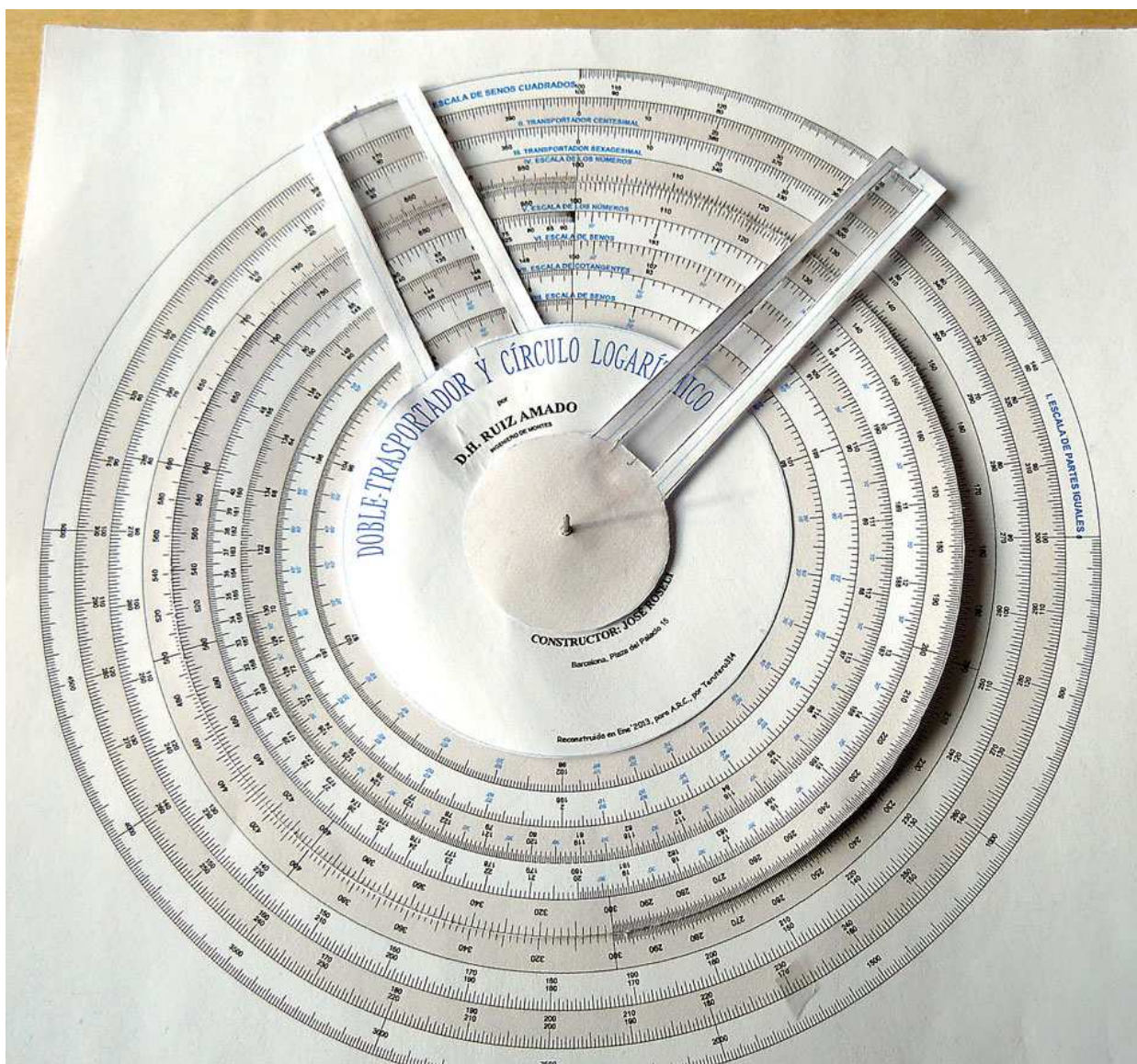


N. 205. Regla Mannheim

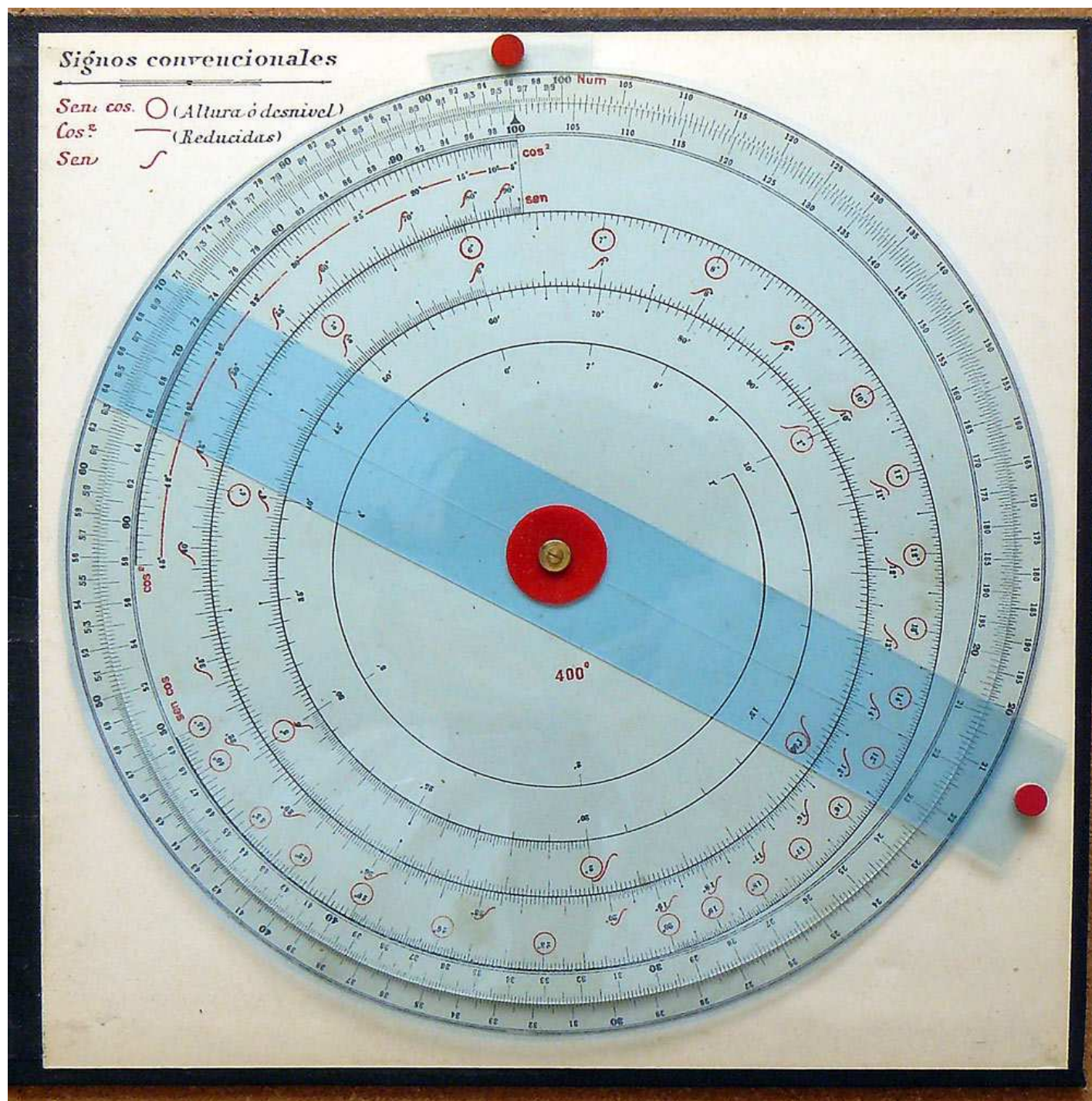


- 106 Tachéomètre Porro, modifié par M. Moinot, lunette annallatique de 36 millimètres d'ouverture, 275 millimètres de distance focale, grossissant 40 fois, cercle azimutal de 19 centimètres de diamètre, divisé en grades, donnant les 0,05 de grade par les verniers. Cercle vertical de 15 centimètres de diamètre donnant les 0,05 de grade par les verniers, micro-mètre à 4 fils fixes, boussole rectangulaire avec barreau de fr. c. 11 centimètres de longueur, boîte en noyer et pied à 6 branches (fig. 33). 900 »
- 107 Règle logarithmique en cuivre, de M. Moinot. 80 »
- 108 La même en bois. 50 «

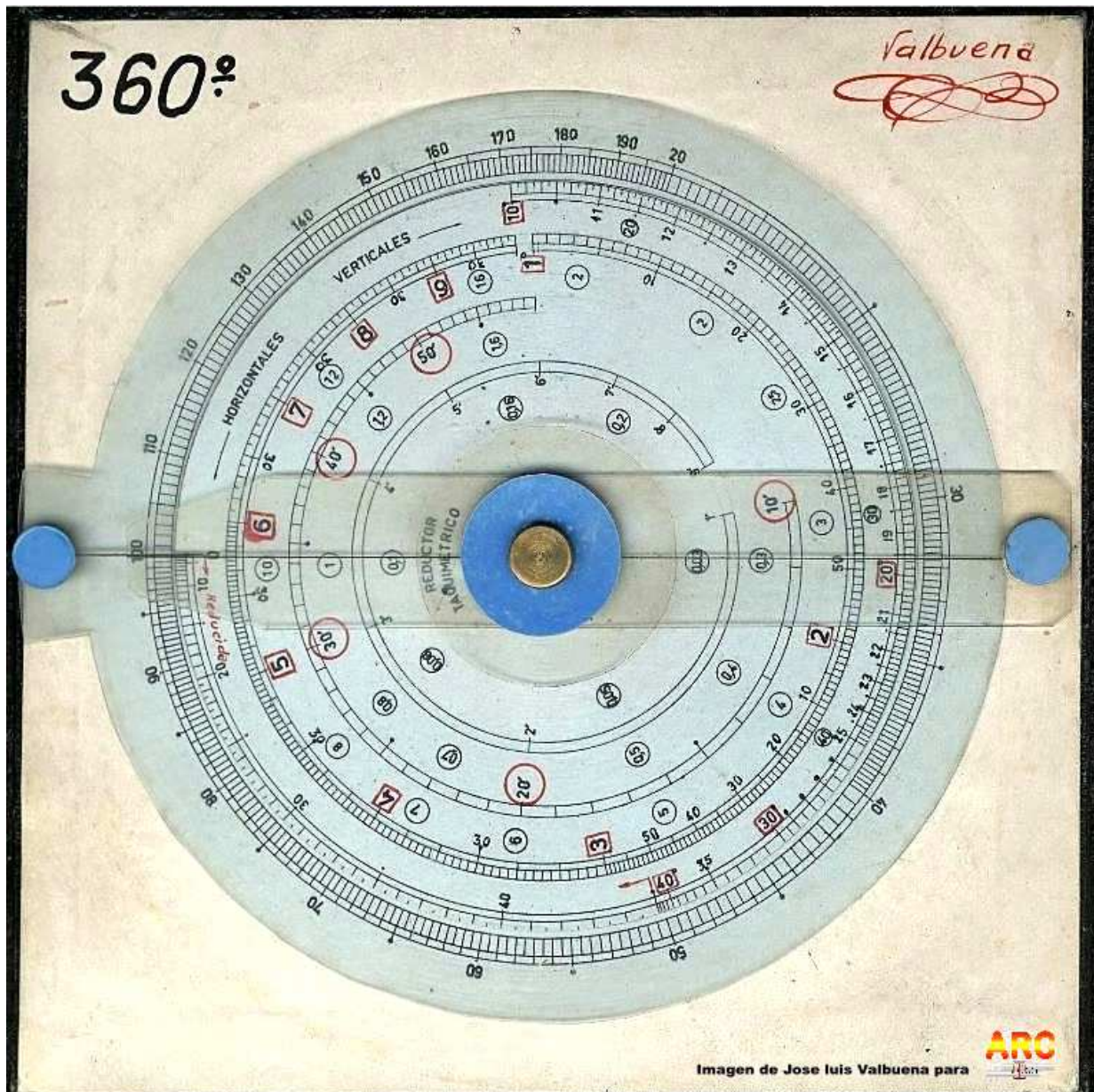
Anexo 6 Círculo logarítmico de Ruiz Amado (reproducción)



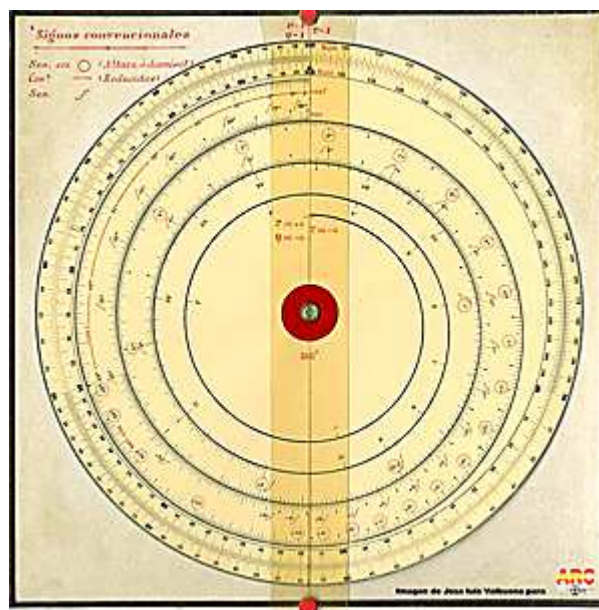
Anexo 7 Círculos del Instituto Geográfico Catastral



Círculo logarítmico J.M.P. 400g (www.photocalcul.com)



Círculo reductor y círculo taquimétrico 360°



Imágenes de la Asociación ARC

Anexo 8 Ejemplos de Tablas numéricas

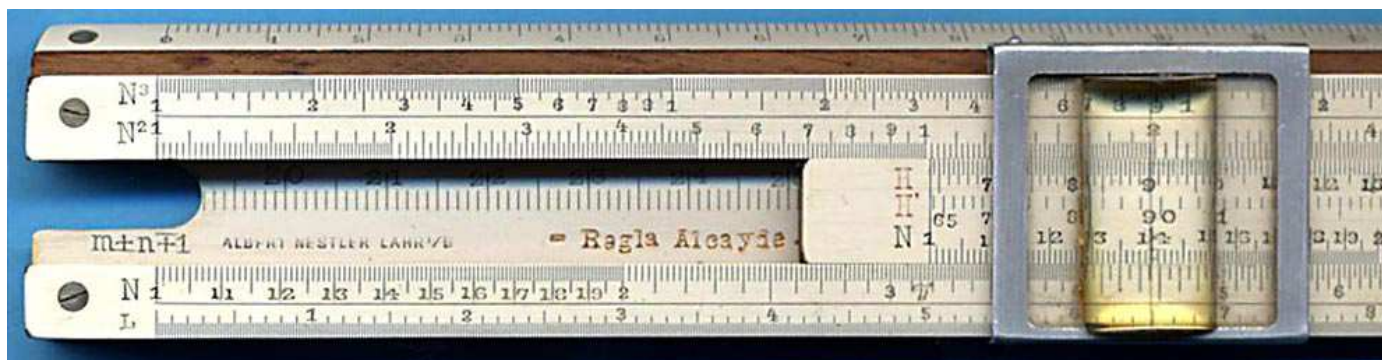
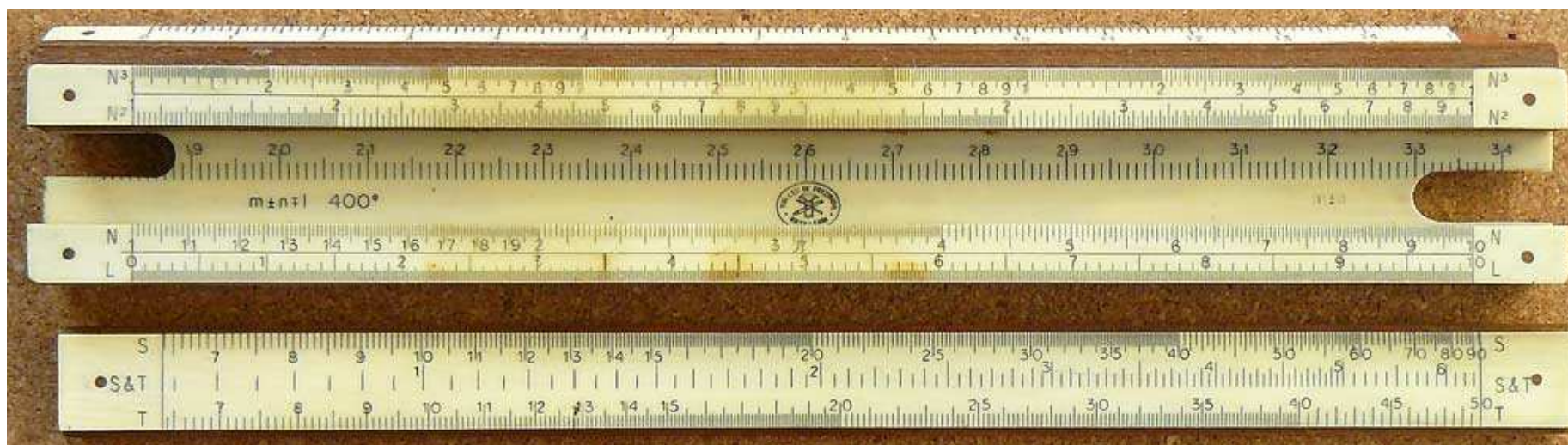
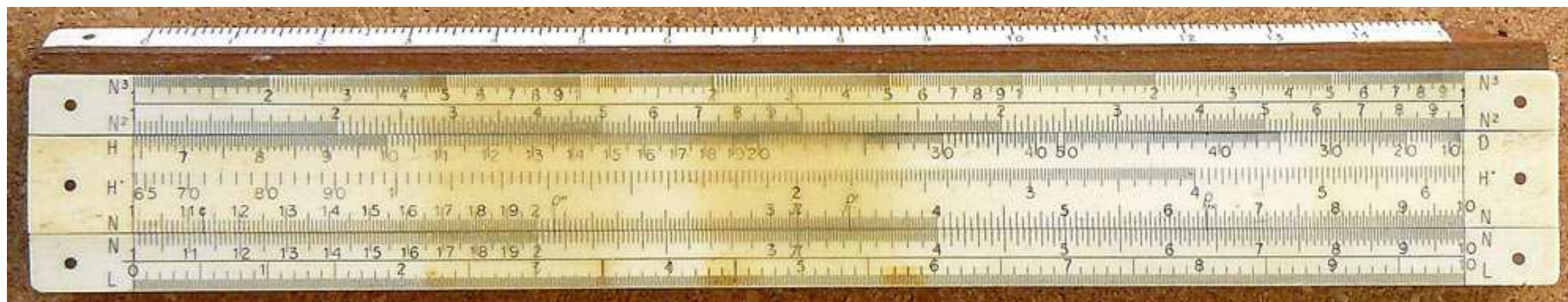
	44° 30'	44°	43° 30'	43°	42° 30'	42°	41° 30'	41°	40° 30'	40°	
$\Delta 1'$	30'	1°	1° 30'	2°	2° 30'	3°	3° 30'	4°	4° 30'	5°	$\Delta 1'$
58	174	349	523	698	872	1045	1219	1392	1564	1736	56
64	192	384	576	767	959	1150	1341	1531	1721	1910	63
70	209	419	628	837	1046	1254	1462	1670	1877	2084	69
76	227	454	680	907	1133	1359	1584	1809	2034	2257	75
81	244	489	733	977	1220	1463	1706	1948	2190	2431	81
87	262	523	785	1046	1307	1568	1828	2088	2347	2605	86
93	279	558	837	1116	1394	1672	1950	2227	2503	2778	92
99	296	593	890	1186	1482	1777	2072	2366	2659	2952	98
105	314	628	942	1255	1569	1881	2194	2505	2816	3126	104
110	331	663	994	1325	1656	1986	2315	2644	2972	3299	109
116	349	698	1047	1395	1743	2090	2437	2783	3129	3473	115
122	366	733	1099	1465	1830	2195	2559	2923	3285	3647	121
128	383	768	1151	1535	1917	2299	2681	3062	3442	3820	127
134	401	803	1204	1604	2005	2404	2803	3201	3598	3994	132
139	418	837	1256	1674	2092	2509	2925	3340	3754	4167	138
145	436	872	1308	1744	2179	2613	3047	3479	3911	4341	144
151	453	907	1361	1814	2266	2718	3168	3618	4067	4515	150
157	470	942	1413	1883	2353	2822	3290	3758	4224	4688	154
163	488	977	1465	1953	2440	2927	3412	3897	4380	4862	160
169	505	1012	1518	2023	2527	3031	3534	4036	4537	5036	166
174	523	1047	1570	2093	2615	3136	3656	4175	4693	5209	172
203	610	1221	1832	2441	3050	35	3658	4265	4871	5475	201
232	697	1396	2093	2790	3486	40	4181	4875	5567	6257	230
262	784	1570	2355	3139	3922	45	4704	5484	6263	7039	259
291	872	1745	2617	3488	4358	50	5226	6093	6959	7822	288
320	959	1919	2878	3836	4793	55	5749	6703	7654	8604	316
349	1046	2094	3140	4185	5229	60	6272	7312	8350	9386	345
378	1134	2268	3402	4534	5665	65	6794	7921	9046	10168	374
407	1221	2443	3663	4883	6101	70	7317	8531	9742	10950	403
436	1308	2617	3925	5232	6537	75	7839	9140	10438	11733	432
465	1396	2792	4187	5580	6972	80	8362	9749	11134	12515	460
494	1483	2966	4448	5929	7408	85	8885	10359	11830	13297	489
523	1570	3141	4710	6278	7844	90	9407	10968	12526	14079	518
552	1657	3315	4972	6627	8280	95	9930	11577	13221	14861	549
$\Delta 2'$	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	$\Delta 2'$
	89°	88°	87°	86°	85°	84°	83°	82°	81°	80°	

Tabla sexagesimal para los ángulos ϕ y θ en función de g (Cardenera)

M'	Sen.	Coseno	Tang.	Cosen.²	M'	M'	Sen.	Coseno	Tang.	Cosen.²	M'
0	0,36812	0,92978	0,3959	0,8645	100	50	0,37542	0,92686	0,4050	0,8591	50
1	0,36827	0,92972	0,3960	0,8644	99	51	0,37556	0,92680	0,4051	0,8590	49
2	0,36842	0,92966	0,3962	0,8643	98	52	0,37571	0,92674	0,4053	0,8589	48
3	0,36856	0,92960	0,3963	0,8642	97	53	0,37585	0,92668	0,4055	0,8588	47
4	0,36871	0,92954	0,3965	0,8641	96	54	0,37600	0,92662	0,4057	0,8587	46
5	0,36885	0,92949	0,3967	0,8640	95	55	0,37614	0,92656	0,4059	0,8586	45
6	0,36900	0,92943	0,3969	0,8639	94	56	0,37629	0,92650	0,4061	0,8585	44
7	0,36915	0,92937	0,3971	0,8638	93	57	0,37643	0,92644	0,4063	0,8584	43
8	0,36929	0,92931	0,3973	0,8637	92	58	0,37658	0,92638	0,4065	0,8583	42
9	0,36944	0,92925	0,3975	0,8636	91	59	0,37673	0,92633	0,4067	0,8582	41
10	0,36958	0,92920	0,3977	0,8634	90	60	0,37687	0,92627	0,4069	0,8580	40
11	0,36973	0,92914	0,3978	0,8633	89	61	0,37702	0,92621	0,4070	0,8579	39
12	0,36988	0,92908	0,3980	0,8632	88	62	0,37716	0,92615	0,4072	0,8578	38
13	0,37002	0,92902	0,3982	0,8631	87	63	0,37731	0,92609	0,4073	0,8577	37
14	0,37017	0,92896	0,3984	0,8630	86	64	0,37745	0,92603	0,4075	0,8576	36
15	0,37031	0,92891	0,3986	0,8629	85	65	0,37760	0,92597	0,4077	0,8575	35
16	0,37046	0,92885	0,3988	0,8628	84	66	0,37774	0,92591	0,4079	0,8574	34
17	0,37061	0,92879	0,3990	0,8627	83	67	0,37789	0,92585	0,4081	0,8573	33
18	0,37075	0,92873	0,3992	0,8626	82	68	0,37803	0,92579	0,4083	0,8572	32
19	0,37090	0,92867	0,3994	0,8625	81	69	0,37818	0,92573	0,4085	0,8571	31
20	0,37104	0,92862	0,3996	0,8623	80	70	0,37833	0,92567	0,4087	0,8569	30
21	0,37119	0,92856	0,3997	0,8622	79	71	0,37847	0,92561	0,4088	0,8568	29
22	0,37134	0,92850	0,3999	0,8621	78	72	0,37862	0,92555	0,4090	0,8567	28
23	0,37148	0,92844	0,4000	0,8620	77	73	0,37876	0,92549	0,4091	0,8566	27
24	0,37163	0,92838	0,4002	0,8619	76	74	0,37891	0,92543	0,4093	0,8565	26
25	0,37177	0,92832	0,4004	0,8618	75	75	0,37905	0,92538	0,4095	0,8564	25
26	0,37192	0,92827	0,4006	0,8617	74	76	0,37920	0,92532	0,4097	0,8563	24
27	0,37206	0,92821	0,4008	0,8616	73	77	0,37934	0,92527	0,4099	0,8562	23
28	0,37221	0,92815	0,4010	0,8615	72	78	0,37949	0,92520	0,4101	0,8561	22
29	0,37236	0,92809	0,4012	0,8614	71	79	0,37963	0,92514	0,4103	0,8560	21
30	0,37250	0,92803	0,4014	0,8612	70	80	0,37978	0,92508	0,4105	0,8558	20
31	0,37265	0,92797	0,4015	0,8611	69	81	0,37992	0,92502	0,4106	0,8557	19
32	0,37279	0,92791	0,4017	0,8610	68	82	0,38007	0,92496	0,4108	0,8556	18
33	0,37294	0,92785	0,4018	0,8609	67	83	0,38021	0,92490	0,4110	0,8555	17
34	0,37308	0,92780	0,4020	0,8608	66	84	0,38035	0,92484	0,4112	0,8554	16
35	0,37323	0,92774	0,4022	0,8607	65	85	0,38051	0,92478	0,4114	0,8553	15
36	0,37338	0,92768	0,4024	0,8606	64	86	0,38065	0,92472	0,4116	0,8552	14
37	0,37352	0,92762	0,4026	0,8605	63	87	0,38080	0,92466	0,4118	0,8551	13
38	0,37367	0,92756	0,4028	0,8604	62	88	0,38094	0,92460	0,4120	0,8550	12
39	0,37381	0,92750	0,4030	0,8603	61	89	0,38109	0,92454	0,4122	0,8549	11
40	0,37396	0,92745	0,4032	0,8602	60	90	0,38123	0,92448	0,4124	0,8547	10
41	0,37410	0,92739	0,4034	0,8601	59	91	0,38138	0,92442	0,4125	0,8546	9
42	0,37425	0,92733	0,4035	0,8600	58	92	0,38152	0,92436	0,4127	0,8545	8
43	0,37440	0,92727	0,4036	0,8599	57	93	0,38167	0,92430	0,4128	0,8544	7
44	0,37454	0,92721	0,4038	0,8598	56	94	0,38181	0,92424	0,4130	0,8543	6
45	0,37469	0,92715	0,4040	0,8597	55	95	0,38196	0,92418	0,4132	0,8542	5
46	0,37483	0,92709	0,4042	0,8596	54	96	0,38210	0,92412	0,4134	0,8541	4
47	0,37498	0,92703	0,4044	0,8595	53	97	0,38225	0,92406	0,4136	0,8540	3
48	0,37512	0,92697	0,4046	0,8594	52	98	0,38239	0,92400	0,4138	0,8539	2
49	0,37527	0,92692	0,4048	0,8593	51	99	0,38254	0,92394	0,4140	0,8537	1
50	0,37542	0,92686	0,4050	0,8591	50	100	0,38268	0,92388	0,4142	0,8536	0
M'	Coseno	Sen.	Cotang.	Sen.²	M'	M'	Coseno	Sen.	Cotang.	Sen.²	M'

Tabla trigonométrica centesimal ($\phi = 75g$ / $\theta = 24g$) (Bárcena)

Anexo 9 Regla Alcayde 'Academias Militares'



Otras imágenes : http://www.photocalcul.com/Calcul/Regles/Autres/photo_Nestler_Alcayde.html