

## INSTRUMENTOS DE TOPOGRAFÍA. RECORDANDO SU HISTORIA

Enero de 1997

José Luís de la Cruz González. José Luís Mesa Mingorance. Profesores de Topografía de la Universidad de Jaén.

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.

Remontándonos alrededor del año 3000 a. de C. los babilonios y egipcios utilizaban ya cuerdas y cadenas para la medición de distancias.

Hasta el 560 a. de C. no se tienen referencias de nueva instrumentación hasta que Anaximando introdujo el "Gnomon", aunque se cree que a este le pudo llegar alguna referencia de los babilonios o egipcios. Entre los primeros usuarios de este nuevo instrumento encontramos a Metón y Eratóstenes para la determinación de la dirección Norte y la circunferencia de la tierra respectivamente.

La "dioptra" o plano horizontal para la medición de ángulos y nivelación tenía su principio en un tubo en "U" con agua el cual servía para horizontalizar la plataforma.

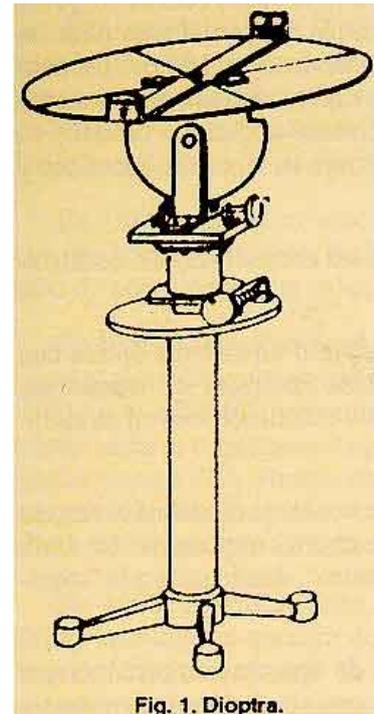


Fig. 1. Dioptra.

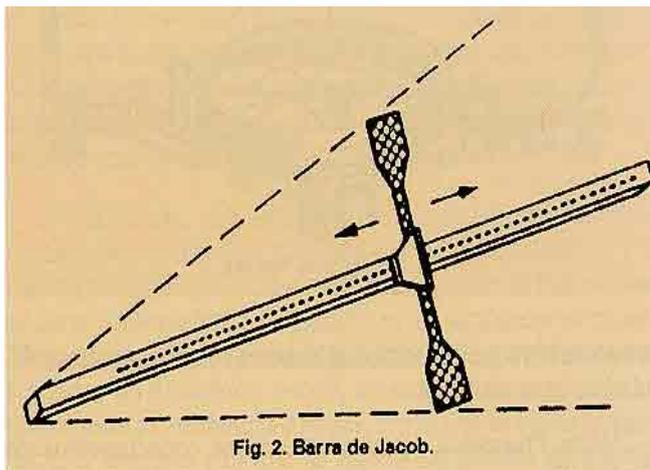


Fig. 2. Barra de Jacob.

El "corobates" o primer aproximación de un nivel, era una regla horizontal con patas en las cuatro esquinas, en la parte superior de la regla había un surco donde se vertía agua para usarla como nivel. Por otro lado Herón menciona la forma de obtener un medidor de distancia por medio de las revoluciones de una rueda.

Ptolomeo, hacia el año 150 a. de C. describió el cuadrante aplicándolo a observaciones astronómicas. Para ángulos verticales, las reglas de Ptolomeo fueron utilizadas hasta la Edad Media.

Se puede considerar como antecesor del teodolito al astrolabio de Hiparco, contemporáneo de Ptolomeo.

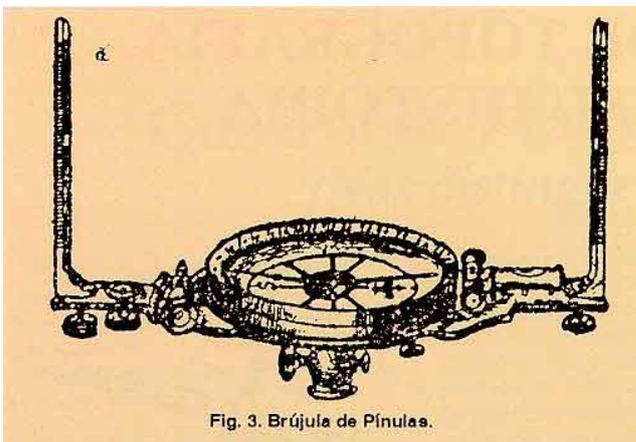
Los romanos, portadores de los conocimientos griegos por Europa, usaron la "Groma", que consta de una cruz excéntrica, con plomadas en sus extremos, fijada a una barra vertical, que disponía de una especie de alidadas. Vitruvio hace referencia a los carros medidores de

distancias por medio de contadores de vueltas, aunque las medidas de precisión se seguían a pasos mediante contadores de pasos. Además de las descripciones de Vitruvio, se encontraron en Pompella distintos instrumentos en el taller de un Agrimensor. También Vitruvio fue el constructor de la primera escuadra aplicando el fundamento de triángulo rectángulo de Pitágoras (lados de 3-4-5 metros).

Muy posteriormente, los Arabes apoyándose en los conocimientos de los griegos y romanos, usaban astrolabios divididos en 5 minutos de arco. [Usbeke Biruni diseño hacia 1000 d. de C., la primera máquina para la graduación de círculos].

Sobre el año 1300, descrito por Levi Ben Gerson, se conoce un mecanismo para la medida indirecta de distancias, [posteriormente la barra de Jacob], mediante el movimiento de una barra perpendicular a otra principal graduada, que proporcionaba así los ángulos paralácticos.

La Brújula desde su nacimiento con los chinos hasta la referencia en 1187 de Alexander Neckman, con el desarrollo posterior introducido por Leonardo Da Vinci y Schmalcalder llegó a ser la precursora del teodolito.



Oronzio Fineo, en su libro "Geometría Práctica", aplica la brújula a un semicírculo graduado con dos alidades, una fija y otra móvil. El siguiente paso hacia el goniómetro actual fue la mejora introducida por Josua Habernel con el teodolito-brújula que data del 1576.

Johan Praetorius, apoyándose en los conocimientos de Gemma Frisius, perfecciona la plancheta, que durante mucho tiempo fue el instrumento más fino y avanzado con que podían contar los topógrafos.

Parece ser que anterior a Galileo, existen noticias de que un óptico holandés, Hans Lippershey, ideó una especie de anteojo sin llegar a montarlo; siguiendo esta línea de trabajo fue, Galileo quien montó su telescopio, continuando con el telescopio de Kepler y de este a la mejora introducida por Christian Huygens quien colocó un retículo para realizar las punterías, con el avance que esto presentaba en los trabajos sobre la alidada de pínulas, usada hasta la época. William Gascoigne añadió el tornillo de los movimientos lentos dentro de los teodolitos.

A todo esto en 1610 aparece la cadena de Agrimensor, atribuida a Aaron Rathbone.

En 1720 se construyó el primer teodolito como tal, este venía provisto de cuatro tornillos nivelantes, cuya tutoría es de Jonathan Sisson (numero de tornillos que casi hasta la actualidad, se siguen usando en los teodolitos americanos).

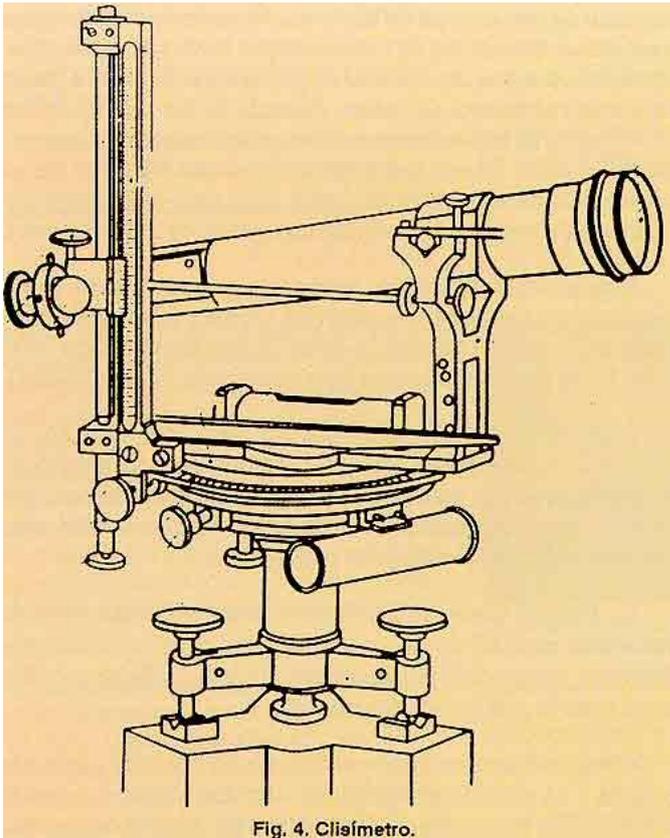


Fig. 4. Clisímetro.

Tobias Mayer cambió los hilos reales del retículo, hasta la fecha de hilos de tela de araña, por una grabación en la propia lente. Ignacio Porro contribuyó con su telescopio y taquímetro autorreductor a los avances en el campo de la instrumentación.

Pedro Núñez aportó un mecanismo de lectura para un cuadrante, dividiendo los círculos concéntricos en  $(n-1)$  del anterior, naciendo así el nonio. Jhon Sisson construyó en 1730 el primer goniómetro, mejorando por Jesse Ramsden quien introdujo microscopios con tornillos micrométricos para las lecturas angulares. Reichenbach inventó en 1803 la primera máquina para graduar círculos o limbos, basado en el sistema de copias, principio que actualmente seguimos usando; en 1804 el propio Reichenbach introdujo su teodolito repetidor y el centrado forzoso.

Sobre el 1740 aparece la primera escuadra doble, construida por el mecánico Adans.

En 1778, William Green describió un sistema óptico con hilos horizontales para la medida indirecta de distancias, posterior Reichenbach añadió hilos estadimétricos en su alidada en 1810.

En 1823, Porro, con ayuda de una lente modificó el ángulo paraláctico, para obtener el que ahora conocemos. En 1839 bautizó a su instrumento "taquímetro", dando paso a la "taquimetría".

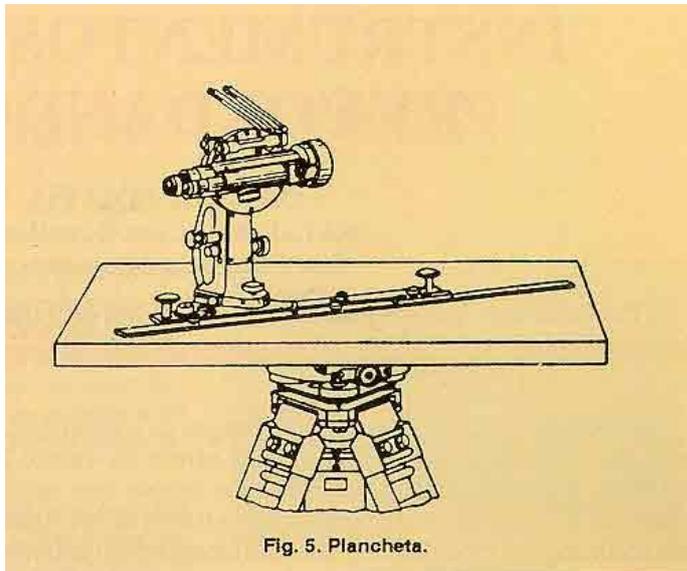


Fig. 5. Plancheta.

En la línea de construcción de aparatos autorreductores encontramos en 1866 a Sanguet con su clisímetro o medidor de pendientes, el cual permitía obtener la distancia reducida con un mínimo cálculo.

Desde 1765 entró con fuerza en el mercado "las planchetas", con más o menos diferencias sobre las conocidas hasta hace algunos años (que quizá la última que se fabricase fuera de marca Sokkisha, utilizando un Red-Mini como alidada distanciómetro de corto alcance), dando lugar a los Taqueográficos y Honolograph.

La mira parlante se la debemos a Adrien Bortaloue, el cual, alrededor de 1830, fabricó la primera mira para nivelación, hecho que potenció el estudio y fabricación de autorreductores, permitiendo así leer en la mira la distancia reducida y el término "t"; entre estos aparatos

podemos citar en 1878 el taquímetro logarítmico, en 1893 el taquímetro autorreductor de Hammer, en 1890 Ronagli y Urbani usaron una placa de vidrio móvil con doble graduación horizontal, cuya distancia entre hilos variaba en función del cenital observado.

Es de obligado cumplimiento decir en esta breve reseña, que en 1858 se midió la base fundamental Geodésica Española, base de Madrideojos (entre Bolos y Carbonera), por medio de una regla doble de platino y latón de 4 metros, obteniéndose una distancia de 1462,885 m. con un error probable de  $\pm 2,580$  milímetros; esta base fue alterada en uno de sus extremos, por lo que no ha sido posible comprobar la longitud que en su día se midió.

En 1900, Fennel creó, de acuerdo con Porro el primer anteojo analítico, usando un arco circular como línea base de los hilos del retículo. Carl Zeiss fabricó en 1932 un prototipo que se fabricó en 1942. En 1936 apareció el DKR y en 1946 el DKRM de Kern. (Posiblemente fue Kern con el KRIA, el último que fabricó un autorreductor mecánico y no electromagnético, teniendo este los hilos rectos y paralelos, que en función de la inclinación del anteojo, por medio de levas y ruedas dentadas, variaban en la imagen del retículo observada desde el ocular, la distancia entre los hilos).

A finales del siglo XIX vieron la luz los primeros telémetros de imagen partida dentro del mismo ocular, dando lugar a los telémetros artilleros o de base fija y a los topográficos o de base móvil; entre ellos se pueden citar los fabricados por Ramsden (1790) y el de Barr & Stroud (1888).

En 1880 apareció el precursor de la actual estadía invar, con una barra de madera. En 1906 Carl Zeiss usó una barra de tubo de acero para su estadía, pasando al invar en 1923.

En 1886, Sanguet inventó el principio que en un futuro dio lugar al prisma taquimétrico. Este principio fue fabricado por Wild en el año 1921 con mira vertical, en lo que posteriormente sería el duplicador taquimétrico (principio ideado por Boskovic en 1777). Hemos de esperar hasta 1933 para encontrar este sistema empleado con nuestra conocida mira horizontal, fabricado por Breithaupt.

En 1908, Heinrich Wild, colaborador entonces de Carl Zeiss, introdujo el anteojo de enfoque interno. Así mismo a Wild le debemos el nivel de coincidencia, el micrómetro de coincidencia y la estadía invar como ahora la conocemos.

Los limbos de cristal fueron fabricados en serie poco antes del 1936, mejorando así la graduación en el propio limbo. En el año 1936, Smakula vaporizó las lentes del anteojo en el vacío, obteniendo algo parecido a lo que actualmente conocemos como la Óptica azul del anteojo.

El DKM3 de Kern apareció en 1939. En el 1862 aparece el THEO O10 de Carl Zeiss. Desde 1950 aparecen el T3 de Wild Heerburgg y de Carl Zeiss Jena el Theo 002 con registro fotográfico. El único interés de mencionar aquí estos aparatos, es por la creencia de que todos ellos y uno a uno marcaron una época dentro de la instrumentación topográfica.

A todo esto, por estas fechas, se seguía usando para trabajos de agrimensura la alidada de pínulas, la cuerda y la cadena de agrimensurador, tal y como refleja Jesús de Federico en su obra "Topografía", reflejándolo en los siguientes términos: "denomínese pínulas a una reglilla provista, paralelamente a sus lados de dimensión mayor, de una ranura terminada en una especie de ventanilla circular, por la que se enfila la vista hacia el objetivo con que se opere. La alidada de pínulas consta en esencia de una regla metálica horizontal, en cuyos extremos se elevan las dos pínulas; ... Las cuerdas usadas con este objeto suelen ser de las llamadas de cordelillo y de torcido muy esmerado, estando corrientemente pintadas con pinturas aislantes para disminuir sobre ellas las influencias atmosféricas, ..., el empleo de la cuerda en topografía general y agrimensura, no obstante la indiscutible ventaja que para los no profesionales presenta, por su facilidad de utilización, ..., por eso hoy su empleo solo ha quedado reducido al de elemento dedicado a servicios auxiliares, ..., la cadena tiene casi siempre la longitud de 10, 20 ó 25 metros, y está formada por eslabones de 0,05 a 0,20 de metro de largo, y provista de sus correspondientes asas, cuyas dimensiones suelen formar parte de la totales que corresponden al primer eslabón, ..., las mejores cadenas son de alambre de acero, de unos 3 mm. de diámetro".

Se hicieron estudios e intentos para obtener el primer nivel automático, teniendo que esperar hasta 1946, año en el que el ruso Stodolkjewish puso en práctica estos principios. En el año 1950, Carl Zeiss fabricó el Ni2, instrumento que poseía un compensador mecánico en lugar de burbuja tubular, precursor de los actuales sistemas de compensación por gravedad. Askania

traspasó este principio a los teodolitos en 1956 montando el compensador para el limbo vertical.

El primer distanciómetro electro-óptico se fabricó en Rusia en el 1936, promovido por el Instituto de óptica Gubernamental. Este tipo de instrumento se empleó en el distanciómetro Aga fabricado en Estocolmo en 1948. En 1957, Wadley obtuvo un distanciómetro de microondas, el Telurometer. Hasta 1968 no aparecerán los distanciómetros electro-ópticos de láser. Wild fabricará el DI-10, distanciómetro de pequeñas dimensiones, que unido a un teodolito proporcionaba un gran beneficio para las medidas topográficas, tanto en rapidez como en precisión.

A partir de estas fechas, el avance ha sido poco menos que vertiginoso, pasando rápidamente a los distanciómetros montados en excéntrica a los montados sobre el propio antejo o bien sobre un puente en la misma carcasa del aparato. Esto se pudo hacer gracias a la reducción de tamaño y peso que estos instrumentos fueron sufriendo, permitiendo así colimar los puntos con un solo movimiento horizontal (en el caso del puente) u con una sola puntería vertical (en el caso del montaje sobre el antejo).

Hace más o menos 11 años aparecieron las semi-estaciones, que eran un distanciómetro montado sobre el mismo teodolito, compartiendo carcasa con él (no muy distintas en aspecto a las actuales estaciones totales), pero con el teodolito era analógico, la electrónica solo podía conocer los resultados de la medida de la distancia, debiendo teclear a mano los ángulos para que el aparato pudiera realizar los cálculos deseados.

Con la aparición de los sistemas electrónicos de captación de ángulos, la carrera contra el tiempo ha sido aun más rápida y efectiva, obteniendo teodolitos digitales más precisos que antaño e incluso abaratando los precios del mercado.

De la captación electrónica de ángulos, tanto en su versión incremental como absoluta, pasamos casi sin darnos cuenta a la concepción de la actual estación total, mejorando la lectura angular así como la medida de distancias. También la electrónica permite sistemas compensadores de uno, dos o tres ejes para la verticalidad del instrumento.

El siguiente paso que mejora la captación de datos son los colectores de datos, apareciendo paulatinamente los colectores externos (libretas con software propio que manejaban el funcionamiento de la estación), colectores de tarjetas de registro (los cuales son manejados por la estación y su software interno), tanto en su versión de contactos físicos con la estación o de carga por inducción electromagnética, como los colectores internos en la propia estación, debiendo conectar esta al ordenador para su descarga. No pasará mucho tiempo para que la técnica permita el volcado de datos por medio de un "modem" a la línea telefónica, estando el colector a cientos de kilómetros del ordenador que recibe los datos.

No podemos olvidar que los propios distanciómetros ya funcionan por medida de fase (permitiendo ya reflectores totalmente planos) o por medida de tiempo, lo cual permite poder leer la distancia a sólido, con tal de que este no sea de un material que absorba la onda emitida.

Sería extenso y no muy ilustrativo el dar un repaso a los avances en las características de las estaciones totales desde su origen hasta la actualidad, por lo que preferimos tan solo dar un ligero vistazo a las últimas novedades del mercado, no queriendo aquí establecer parámetros de calidad, ni en absoluto dar una idea de que un aparato o marca sea recomendable sobre otra, por lo que, si mencionamos una casa comercial es porque poseemos más información sobre dicho instrumento.

Podemos hacer referencia aquí a los últimos modelos de las estaciones motorizadas, en sus dos versiones, tanto para replanteo de puntos (los cuales mediante la introducción de las coordenadas de los puntos en el aparato, este se orienta y se queda marcando la dirección del punto a falta de leer distancia) y las robotizadas que mediante un sistema de búsqueda y seguimiento del prisma puede ir tomando datos sin operador que manipule la estación total, sino que la propia persona que lleva el reflector está en contacto con la estación dándole cuantas órdenes precise el aparato; como por ejemplo la estación TCA del sistema 1000 de Leica, con 10cc de precisión angular y 2500 metros de alcance.

Es de ley comentar igualmente el sistema Monmos de la marca Sokkia, que mediante emisión infrarroja consigue una precisión de 0,8 mm + 1 p.p.m. Como una de las últimas curiosidades, la marca Pentax nos ofrece su nivel automático Autofocus AFL, el cual tiene un sistema de

autoenfoco. Los ya conocidos NA2000 y NA3000 de la marca Leica, niveles electrónicos provistos de colector de datos leyendo a miras de códigos de barras. Ya como última reseña podemos señalar el sistema de alimentación fotovoltaica de la casa Geo5, es decir instrumentación alimentada por paneles solares. No vamos a entrar aquí a comentar las posibilidades del sistema G.P.S. con su estacionamiento en tiempo real o diferido, con altas precisiones que se están obteniendo.

Así podíamos continuar durante un buen rato, pero ya que esta pequeña reseña no tiene como fin el ver todas las últimas novedades en instrumentación sino el comentar someramente el avance de esta, creemos que con los ejemplos mencionados es más que suficiente para hacernos una idea de el nivel técnico actual.

Ya no nos queda más que plantear como final de este recuerdo de la historia, una cuestión que seguro inquietará al alma más sosegada, ¿qué nos depara el futuro?

## **BIBLIOGRAFÍA**

Deumlich, Fritz. "Survey Instrument\$" (Walter de Gruyter New York, 1982).

Domínguez García Tejero, Fco. "Topografía General y Aplicada" (Madrid: Ed. Dossat S.A., 1989).

Duberc, G. "Cours de Topométrie Générale, Tomo I" (Paris: Editions Eyrolles, 1985).

de la Cruz González, José Luís. "Instrumentos Topográficos" (Universidad de Jaén, 1995).

Federico, Jesús de. "Topografía" (Madrid: Ediciones Ibéricas).

Fossi, Ignacio. "Tratado de Topografía Clásica" (Madrid: Ed. Dossat S.A., 1949).

Martin Lopez, Jose. "Historia de la Cartografía y de la Topografía" (U.P.M. Escuela Universitaria de Ing. Técnica en Topografía, 1995).  
Catálogos de las marcas Leica, Sokkia, Pentax y Geo5.