

NOCIONES ELEMENTALES

DE

# TAQUEOMETRIA

ESCRITAS POR

NOCIÓN JOSE JOAQUIN ARRIAGA

Ingeniero Topógrafo é Hidromensor  
de la

**ESCUELA NACIONAL DE INGENIEROS DE MEXICO**

ANTIGUA ESCUELA DE MINAS.

**MÉXICO**

OFICINA TIPOGRAFICA DE LA SECRETARIA DE FOMENTO

Calle de San Andrés número 15. (Avenida Oriente, 51)

1896

# TAQUEOMETRIA

JOSE JOAQUIN ARIAGA

ESCUELA NACIONAL DE INGENIEROS DE MEXICO

PROPIEDAD DEL AUTOR.

MEXICO

IMPRESION EN LA TIPOGRAFIA DE FAVATE

1881

## NOCIONES ELEMENTALES DE TAQUEOMETRÍA.

A la denominación de *Taqueometría* primeramente adoptada, el profesor Porro substituyó la de *Celerimensura* ó *Eidípsometría*, para definir el arte de los levantamientos topográficos con todos los detalles del terreno, refiriéndolos ó tres ejes coordenados  $x, y, z$ , ortogonales entre sí.

Habiendo sido modificado el antiguo Taqueómetro, ha recibido en su nueva forma el nombre de **CLEPS-CICLO**, derivado de la palabra griega *clepo*, que significa *oculto, escondido*.

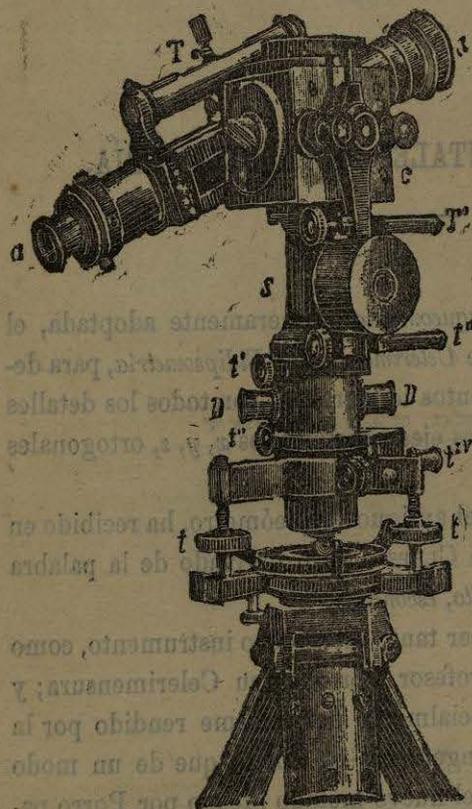
Vamos, pues, á dar á conocer tanto este nuevo instrumento, como el sistema adoptado por el profesor Porro en su *Celerimensura*; y para ello nos serviremos especialmente del informe rendido por la Comisión de la Sociedad de Ingenieros de Turin, que de un modo especial se ocupó en estudiar el nuevo método ideado por Porro para los levantamientos topográficos. (1)

*Descripción del Taqueómetro Cleps ó Cleps-Ciclo.*—Este goniómetro, inventado por Porro, consta esencialmente de dos círculos uno azimutal y otro zenital encerrados dentro de un cubo de bronce.

Las partes principales de este instrumento, que para abreviar llamaremos solamente *cleps*, son las siguientes: 1ª, un trípode ó tripié destinado á soportar el instrumento; 2ª, una plataforma que se ator-

(1) Actas de la Sociedad de Ingenieros é Industriales de Turin.—Año III, 1863, fascículo II, Tuirn, 1870.—Tipografía de Carlos Favate.

nilla á la cabeza del tripié y sobre la cual se fija el cleps; 3ª, dos niveles, uno esférico y otro montante sobre el anteojo del instrumento; 4ª, dos círculos dispuestos en planos perpendiculares entre sí, de los cuales uno sirve para medir los ángulos azimutales, y el otro las distancias zenitales, encerrados ambos, como ya se dijo, en un cubo de bronce; 5ª, un aparato magnético, compuesto de una aguja imantada, correspondiente al círculo azimutal y suspendida á un hilo muy fino de seda; 6ª, un anteojo, cuyo eje de rotación pasa por el centro del círculo zenital en dirección normal al mismo círculo.



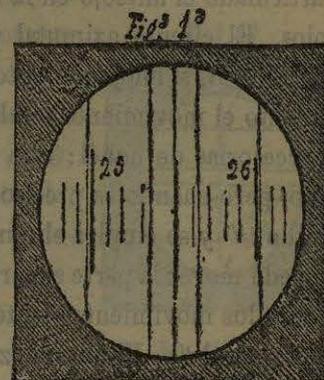
Cleps modelo mediano.

Además de estas partes, que llamaremos esenciales, existen otras varias de que hablaremos en el curso de esta descripción. Los cleps se construyen de diversos tamaños, y de su magnitud puede uno hacerse cargo atendiendo al largo de los anteojos. En el que llamaremos *grande modelo*, el anteojo tiene un metro de largo; el del segundo, ó *modelo mediano*, es de 0<sup>m</sup>.55; el de tercer tamaño, ó *modelo pequeño*, el anteojo tiene sobre 0<sup>m</sup>.33 de largo; finalmente, hay un cleps mucho más reducido, que por sus cortas dimensiones puede llamarse *de bolsa* y cuyo anteojo mide 0<sup>m</sup>.10 de largo. La descripción que en seguida hacemos se refiere al cleps modelo mediano.

Sobre una plataforma de tres tornillos, levántase un soporte cilíndrico *S* de mayor expansión en la parte inferior que en la superior y que lleva sobre ésta un cubo *C*, de cuyas caras, unas tienen, en el modelo que estudiamos, 0<sup>m</sup>.068 milímetros por lado, y otras, 0<sup>m</sup>.072 milímetros de largo, por 0<sup>m</sup>.068 de alto. En la cara superior de este cubo se halla fijo un nivel esférico, y en el interior de esta caja están contenidos el círculo azimutal y el círculo zenital para la medida de los ángulos. Estos dos círculos, que son de metal muy duro, llevan la división centesimal; es decir, la circunferencia dividida en 400°, estando cada grado dividido en décimos. En la cara opuesta á la en que está articulado el anteojo se encuentran los oculares *o*, *o'* de dos microscopios compuestos, y que sirven, mediante el auxilio de prismas refringentes de cristal, para hacer la lectura simultánea de los dos círculos graduados y para estimar las fracciones de grado de décimo en décimo, ó sea el centésimo de grado, lo cual es bastante en las operaciones ordinarias. De estos microscopios, el que está situado á la derecha del tornillo *T* que sujeta el movimiento del anteojo y lleva la marca  $\theta$  sirve para las lecturas del limbo azimutal, y el que está á la izquierda del mismo tornillo y tiene la marca  $\varphi$  es el que se emplea en las lecturas del limbo zenital. Los círculos de los cleps no llevan nonius para apreciar las fracciones de grado, sino micrómetros, siendo de cinco hilos los del cleps grande modelo, y de tres los del mediano y del pequeño. La figura adjunta representa el campo de uno de los microscopios del cleps grande modelo y el mismo aspecto ofrecen los del mediano, suprimiendo los hilos extremos.

La lectura de los ángulos se hace por simple valuación á la vista, siendo bien fácil apreciar el  $\frac{1}{10}$  de un intervalo, siempre que esta fracción sea apreciable al ojo del observador.

Valúase, pues, la posición del hilo colimador entre dos divisiones consecutivas, correspondiendo al cen-



tésimo y al milésimo de grado, el décimo y el centésimo de intervalo entre dos divisiones. En el campo de los microscopios no hay, como ya se ha visto, un solo hilo, sino cinco ó tres, pudiéndose así hacer cinco ó tres lecturas independientes, correspondiendo cada una de ellas á la posición de cada hilo, y tomar en seguida el promedio, sumándolas para ello.

De esta manera se obtiene una apreciación más exacta que corresponde á la posición media de un hilo imaginario. Siendo el error medio de cada lectura  $\frac{1}{20}$  del intervalo, el error de lectura del hilo medio, deducido el promedio aritmético de las cinco lecturas, sería:

$$\pm \frac{0.005}{\sqrt{5}} = \pm 0,0022$$

es decir, 7'' de grado centesimal.

Cuando se ha adquirido suficiente práctica, las lecturas se hacen con bastante rapidez, no empleándose más tiempo del que es necesario para leer el valor angular en el limbo de un instrumento cuya aproximación sea de 10''. Por otra parte, la completa analogía que existe entre las lecturas de la mira y las de los ángulos ayuda mucho á facilitar la práctica.

El soporte ó sustentáculo *S* consta de dos partes, incrustada la una dentro de la otra: la parte interior lleva en su extremidad el círculo azimutal y á la exterior que la cubre está unido el cubo *C* al cual está articulado el anteojo en la cara opuesta á la que lleva los microscopios. El círculo azimutal puede, pues, girar al derredor del eje vertical *AB*, si aflojando el tornillo de presión *t'''* se imprime al instrumento el movimiento total llevando en su rotación todas las partes accesorias de aquél: este movimiento puede imprimirse con la mano; pero cuando es preciso usar movimientos lentos se aprieta el tornillo *t'''* y se emplea el tangencial *t'*. Estando fijo el instrumento se puede mover la parte superior de él aflojando el tornillo *t'*, y usando para los movimientos lentos, después de apretar dichos tornillos, el tangencial *t'*. El círculo zenital gira al derredor de su eje horizontal, cuando al anteojo se le imprime el movimiento de rotación en torno del mismo eje. El movimiento total del anteojo se suspen-

de por medio del tornillo *T* situado entre los dos microscopios, y los movimientos lentos se le imprimen empleando para ello el tangencial *T'*. Sobre la cara superior del cubo existe fijo un nivel esférico para horizontalar el instrumento.

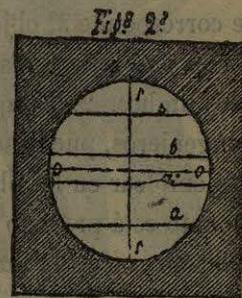
En la parte inferior del soporte, y que es de mayor diámetro que la superior, se halla instalado dentro de un tubo cilíndrico que sobresale de la base de aquél, y de una á otra parte, cerca de un centímetro, un declinatorio magnético *DD*. Es evidente que estando fijo el círculo azimutal á la misma pieza que lleva el declinatorio, se puede orientar, con relación á la meridiana magnética, la dirección de donde parten las medidas angulares horizontales, es decir, el diámetro 0°, 200° de la graduación del limbo azimutal.

El anteojo del cleps modelo mediano es analítico (1); tiene 0,35 de largo y 0,04 de abertura. El ocular es del tipo de Ramsden, como en los anteojos comunes, pero de una construcción especial llamada *ortoscópica*, es decir, que está formado por una combinación de lentes tal que se pueda obtener el mayor campo posible en el anteojo sin sacrificar mucho su poder aumentativo.

El anteojo tiene un aumento de 30 veces, pero sin embargo de esto, el campo es bastante amplio para colocar un micrómetro de varios hilos.

Las lecturas de mira se hacen siempre dobles y se toma el promedio de ellas; sin embargo, no hay que preocuparse con estas operaciones aritméticas, porque la graduación y la numeración de las miras están hechas expresamente para evitarlas.

La figura 2ª, representa el campo del anteojo: vense en él los dos hilos *oo* y *rr*, que, perpendiculares entre sí, forman la retícula, y los cuatro *a*, *a'*, *b*, *b'* destinados á las lecturas de mira.



Si por las letras *a*, *a'*, *b*, *b'* designamos cuatro lecturas correspondientes hechas sobre la mira, las fórmulas me-

(1) Entiéndese por *analatismo* la invariabilidad del ángulo micrométrico.

dian­te las cuales se obtiene la distancia  $D$ , estando el anteojo hori­zontal y la altura  $H$  sobre el punto al cual va á dar la visual, deter­minada por el hilo  $oo$  del centro, y cuyo valor no se lee en la mira, son las siguientes:

$$D = 2(a - b) + (a' - b')$$

debiéndose tener por verificación  $a - b = a' - b'$  y

$$H = (a + a' + b + b') 0,01$$

Puédese obtener también la distancia  $D$  por la siguiente expresi­ón:

$$D = 10(a' - b)$$

Pero esta expresión no se emplea sino cuando se trata de grandes distancias para las cuales la mira de 4<sup>m</sup> que es la longitud normal, no queda contenida entre los hilos extremos  $a b'$ , ni tampoco entre las  $a b$  ó  $a' b'$ . Evidentemente que también se tiene:

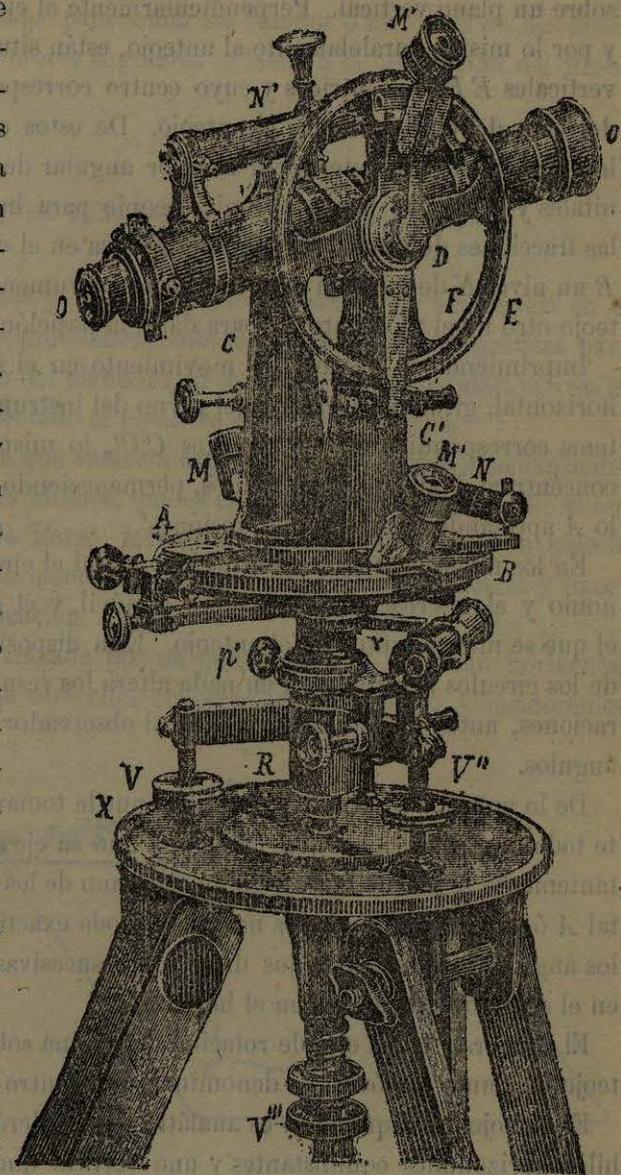
$$D = 4(a - b) = 4(a' - b')$$

En condiciones normales, puéden­se emplear los cuatro hilos hasta 300<sup>m</sup> de distancias.

Los Taquímetros—Cleps de más reciente construcción han recibido algunas modificaciones ventajosas, que los han perfeccionado, res­pecto del modelo primitivo. Estas modificaciones consisten: 1º En llevar en las caras del cubo que contiene los círculos graduados, y que corresponde al objetivo y al ocular del anteojo, prismas de cris­tal con sus reflectores correspondientes para la mejor iluminación de los limbos. 2º En que la graduación de éstos, y según el gusto de los ingenieros, puede ser la centesimal ó la sexagesimal. 3º En po­derse emplear en las observaciones astronómicas, para lo cual el ins­trumento está provisto de helioscopio para las solares y de lámpara y reflectores para la iluminación del retículo en las que se hacen de noche.

*Taquímetro.—Modelo mediano.*—Sobre una plataforma de tres torni­llos  $V V''$  que se une sólidamente á la cabeza  $X$  del tripié por medio de otro tornillo de resorte  $V'''$  se levanta todo el sistema del instru-

mento que se compone en sus principales partes de una corona ho­rizontal  $A$  sobre cuya superficie superior está gra­bada la gradua­ción que en unos taquímetros es la centesimal y en otros la sexagesimal para la apre­ciación de los ángulos azimutales. Concéntricamen­te á esta corona y por medio de un perno de forma cónica que pene­tra en la columna  $R$ , gira otro anillo  $B$  que lleva los no­nios y los micros­copios para apre­ciar más cómoda y exactamente las fracciones de gra­do de los valores angulares. Estos dos círculos tie­nen su centro co­mún sobre un eje vertical al cual permanecen per­pendiculares, siendo este eje el perno del instrumento. Intimamente unidos al segundo anillo, y



Taquímetro de modelo mediano.

dispuestos verticalmente se levantan dos soportes  $C C'$  en cuyas extremidades superiores  $D$  entran los pernos del anteojo  $O O$  que gira sobre un plano vertical. Perpendicularmente al eje de estos pernos, y por lo mismo paralelamente al anteojo, están situados dos círculos verticales  $E E$  concéntricos y cuyo centro corresponde al del eje al derredor del cual se mueve el anteojo. De estos círculos uno lleva la graduación para determinar el valor angular de las distancias zenitales y el otro el nonio y el microscopio para hacer la lectura de las fracciones de grado. El taquímetro lleva en el círculo horizontal  $B$  un nivel  $N$  de burbuja para nivelar el instrumento, y sobre el anteojo otro nivel montante  $N'$  para darle la posición horizontal.

Imprimiendo al anteojo un movimiento en el sentido del plano horizontal, girará al derredor del perno del instrumento todo el sistema correspondiente á los soportes  $C C'$ , lo mismo que el círculo concéntrico  $B$  al cual están unidos, permaneciendo inmóvil el círculo  $A$  apretando el tornillo de presión  $p'$ .

En los movimientos en el sentido vertical el círculo que lleva el nonio y el microscopio permanece inmóvil, y el círculo zenital es el que se mueve junto con el anteojo. Esta disposición inversa á la de los círculos horizontales, en nada altera los resultados de las operaciones, antes al contrario, facilita al observador la lectura de los ángulos.

De lo anterior resulta que el anteojo puede tomar indiferentemente todas las direcciones del espacio, y que su eje se proyecta constantemente según un clisímetro de cada uno de los círculos horizontal  $A$  ó vertical  $E$ , dando los nonios con toda exactitud la medida de los ángulos formados por dos direcciones sucesivas del anteojo, sea en el sentido vertical, sea en el horizontal.

El concurso de los ejes de rotación determina sobre el eje del anteojo un punto inmóvil que denominaremos centro de rotación.

El anteojo del taquímetro es analítico, y el micrómetro lleva tres hilos horizontales equidistantes y uno vertical que los corta en el centro. Este último y el horizontal del centro corresponden á los diámetros de la retícula y determinan por su intersección el eje del anteojo; los otros dos hilos sirven para medir las distancias.

El taquímetro, por último, lleva un declinatorio magnético, ó una brújula central para orientar el instrumento según la meridiana magnética, sirviendo así para tomar los rumbos ó azimutes de las directrices, y cuyos valores angulares se leen en la graduación del limbo horizontal.

#### PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DE LA TAQUEOMETRÍA.

La *Taqueometría* y la *Celerimensura* consisten en su esencia en el arte de ejecutar simultáneamente las operaciones topográficas para el levantamiento del plano de un terreno y las de nivelación con el fin de obtener acotado el plano de ese mismo terreno.

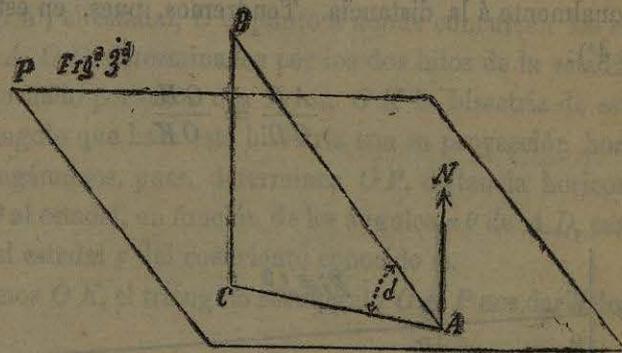
En la doctrina que vamos á exponer, seguiremos la enseñanza del ingeniero francés Moinot, que es el que habiendo modificado el antiguo método de Porro, introdujo cambios importantes en todo lo que constituye la ciencia taqueométrica, para simplificarla y hacer más fácil su aplicación.

Supongamos trazado por un punto dado  $A$ , un plano horizontal  $P$ , y sea  $A N$  una dirección conocida en este plano. Consideremos en seguida, un

punto cualquiera  $B$  del espacio que supondremos unido al punto  $A$  por la recta  $A B$  cuya proyección sobre un plano horizontal será  $A C$ , resul-

tando que el triángulo  $A B C$  formado por la horizontal  $A C$ , la vertical  $B C$  que pasa por  $B$  y la dirección  $A B$ , será rectángulo en  $C$ .

Para obtener, pues, la posición del punto  $B$  en el espacio, bastará







desarrollando en esta ecuación las expresiones  $[\cos. (a + \theta)$  y  $\cos. a - \theta)$ , y efectuando las reducciones, se tendrá:

$$EB = \frac{AD}{\cos. a} (\cos.^2 a - \text{sen.}^2 a \text{ tang.}^2 \theta)$$

Siendo conocido el valor de  $EB$ , tendremos sucesivamente como hemos dicho antes:

$$OK = \frac{AD}{\cos. a} (\cos.^2 a - \text{sen.}^2 a \text{ tang.}^2 \theta) + m$$

$$OP = \frac{AD}{\cos. a} (\cos.^2 a - \text{sen.}^2 a \text{ tang.}^2 \theta) \times m \times \cos a =$$

$$m AD (\cos.^2 a - \text{sen.}^2 a \text{ tang.}^2 \theta)$$

Tal es la fórmula que da el valor exacto de la distancia horizontal, extendiéndose al caso en que el anteojo se inclina en vez de elevarse, lo que sería fácil demostrar de una manera análoga.

Si en la fórmula anterior hacemos como un caso particular  $a = \theta$ , tendremos como debía de ser:

$$OP = m AD$$

Esta expresión es, por consiguiente, general, reduciéndose en la práctica á:

$$OP = m AD \cos.^2 a$$

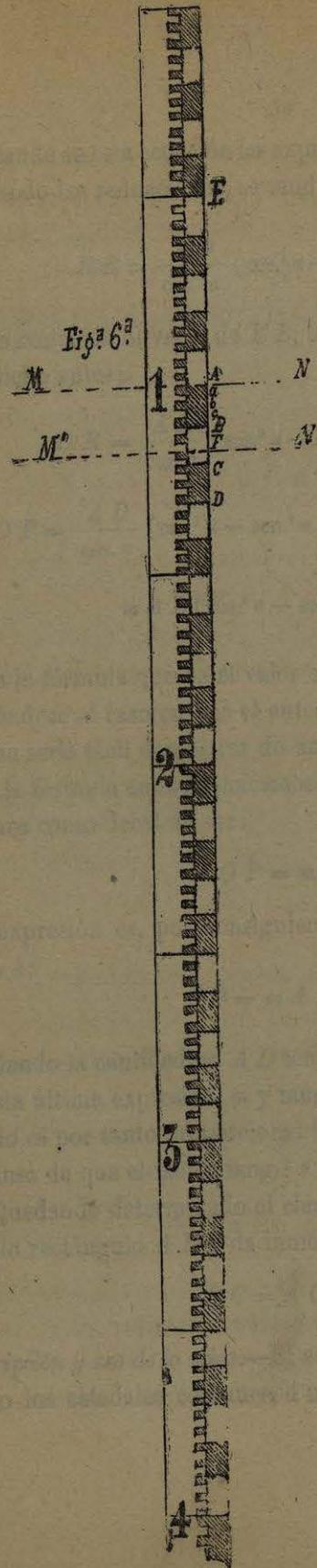
despreciando la cantidad en  $AD \text{ sen.}^2 a \text{ tang.}^2 \theta$ .

En esta última expresión,  $m$  y  $\text{tang.}^2 \theta$  son dos constantes; el error cometido es por tanto proporcional á  $AD \text{ sen.}^2 a$ , pero es despreciable á causa de que el factor  $\text{tang.}^2 \theta$  es infinitamente pequeño.

3.—Quedando determinado el elemento horizontal  $AC$  (fig. 3ª) el triángulo rectángulo  $ABC$  da inmediatamente:

$$BC = AC \text{ tang. } a$$

*Descripción y uso de la mira.*—El estadal adoptado por Moinot, tiene como los estadales comunes, 4 metros de largo. Los intervalos



comprendidos entre el pie del estadal, ó sea el 0 y las divisiones 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup>, 3<sup>a</sup>, etc., tienen una longitud de 0<sup>m</sup>.50. Cada uno de estos espacios está dividido en 10 partes iguales *AB*, *BC*, *CD* (fig. 6<sup>a</sup>) y cada una de éstas á su vez en cinco porciones. De aquí resulta, que cada una de las divisiones *AB*, *BC*, ..... tiene un valor de 0<sup>m</sup>.05 y que la mitad de las más pequeñas *Aa*, *ab*, *bc* equivale á 0<sup>m</sup>.005.

La distancia de los hilos de la estadia está arreglada de manera que la parte del estadal interceptada entre los hilos á la distancia de 100<sup>m</sup>, sea igual á uno de los intervalos de 0<sup>m</sup>.50. A la distancia de 800 metros, el largo total de la mira quedaría comprendido entre los hilos.

Veamos ahora cómo se hacen las lecturas. Después de llevar el hilo superior *MN* sobre la división 1 del estadal, por ejemplo, el inferior caerá en una división cualquiera. Valoricemos, pues, en metros la parte del estadal interceptada por los hilos, ó sea  $AF = FE - AE$ , tendremos para esto:

$$\begin{aligned} FE = EA + AB + BF &= 0,50 + 0,05 + 0,035 = 0,585 \\ - AE &= 0,500 \\ \hline AF \text{ ó sea } h &= 0,085 \end{aligned}$$

La relación ó coeficiente *m* de que ya se ha hablado, y en el caso de que á la distancia de 100<sup>m</sup> del estadal, el intervalo de éste, interceptado por los hilos de la estadia fuese de 0<sup>m</sup>.50, resultaría ser de  $\frac{100}{0,50} = 200$ , y la distancia que media entre el estadal y el instrumento, se obtendrá multiplicando por 200 el intervalo comprendido entre los hilos ó sea  $D = 200 h$ .

Si multiplicamos, pues, en nuestro ejemplo, la cantidad leída en el estadal, por 200, tendremos:

$$D = 0,085 \times 200 = 17^m$$

Pero en lugar de multiplicar el número 0,85 por 200, se obtiene el mismo resultado multiplicándolo primeramente por 20 y en seguida por 10. La primera de estas multiplicaciones se hace con la lectura.

Supongamos, en efecto, que las divisiones del estadal sean 20 ve-