

CAPITULO XI.

PRINCIPIOS GENERALES ACERCA DE LOS MÉTODOS QUE SE APLICAN EN LA PLANOMETRÍA PARCIAL.

120. Habiendo terminado ya la exposición de las reglas referentes á las operaciones de la planometría general, pasemos á ocuparnos en los procedimientos que tienen por objeto determinar la situación de todos los puntos del terreno que deban figurar en el plano.

El curso de los ríos, las inflexiones de los caminos, los límites y divisiones naturales ó artificiales de las tierras, etc., forman polígonos irregulares, ó líneas más ó menos sinuosas, cuyos elementos es necesario conocer para fijar su posición respecto de los vértices trigonométricos; y aunque dije al principio que tratándose de extensiones de terreno muy cortas no eran absolutamente indispensables las triangulaciones, para considerar aquí el caso más general, supondré que se hayan establecido puntos trigonométricos bastante cercanos unos de otros para que puedan servir de base y comprobación á las demás operaciones del levantamiento.

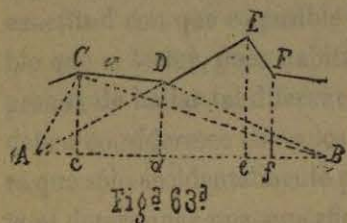


Fig.^a 63.^a

Sea AB (fig.^a 63.^a) un lado de la triangulación, ó con más generalidad, una línea enlazada con ella, y á la cual se quieren referir los puntos C, D, E, F , etc., perteneciente á una línea poligonal. La posición de cualquiera de estos puntos, de C por ejemplo, puede determinarse de varios modos:

1.^o Supongamos trazada la línea AB , llamada *directriz*, y bajemos de los puntos C, D, E , etc., las perpendiculares Cc, Dd, Ee , etc. Si se miden las distancias Ac y Cc, Ad y Dd, Ae y Ee , etc., ó lo que es lo mismo, la abscisa y la ordenada de cada punto respecto de AB como eje y de A como origen, podrán situarse en el plano con arreglo á la escala que se haya adoptado.

2.^o Midiendo en A el ángulo CAB que forma el primer punto de la línea poligonal, con la base ó *directriz* AB , y también la distancia AC , se tendrán los datos necesarios para fijar la posición de C . De la misma manera podrían determinarse todos los otros puntos; pero por lo común, una vez situado el primero, es preferible trasladarse á él para tomar el ángulo ACD y medir la distancia CD ; en seguida á D para medir el ángulo CDE y la línea DE ; y proseguir así hasta el fin.

3.^o Se podrían situar igualmente los puntos de la línea quebrada $CDEF$ si desde A y B se toman los ángulos CAB y CBA, DAB y DBA , etc., que forma cada uno de ellos con la *directriz*.

121. Estos tres métodos que se aplican en la planometría parcial, se llaman: el primero, de *coordenadas rectangulares*; el segundo de *rumbos y distancias*, aunque acaso debería denominarse con más propiedad de *coordenadas polares*, por ser un ángulo y una línea los elementos que sirven para fijar la posición de cada punto; el tercero se llama método de *intersecciones*.

La elección de uno ú otro de estos procedimientos muchas veces no es arbitraria, sino que depende en gran parte de las circunstancias especiales de cada caso. Así, por ejemplo, el método de coordenadas rectangulares sería preferible cuando la línea poligonal fuese muy sinuosa ó compuesta de muchos lados pequeños, y que se pudiese elegir la *directriz* bastante próxima á ella, á fin de que no fuesen muy grandes las perpendiculares que hay necesidad de medir. Si por el contrario, la línea poligonal constase de pocos elementos, y cada uno de cierta extensión, debería preferirse el método de coordenadas polares, al menos si todos sus vértices eran cómodamente accesibles. En terrenos húmedos, pantanosos ó por cualquiera otra causa de difícil acceso, el método de intersecciones es casi el único que puede aplicarse.

Si se consideran los tres procedimientos bajo el aspecto de su facilidad relativa de ejecución, la comparación resulta evidentemente en favor del de intersecciones, en atención á que hay necesidad de medir muchas menos líneas que en cualquiera de los otros, y de consiguiente su aplicación es menos laboriosa y más rápida. Viene en seguida el de coordenadas polares, y por último, el de coordenadas rectangulares; el cual á causa del gran número de medidas lineales que demanda, casi no se emplea más que para el levantamiento de polígonos pequeños y poco sinuosos, tales como el que representa la



Fig. 64ª

figura 64ª. En ella se ha supuesto que la directriz es la diagonal del polígono, trazada entre los puntos *A* y *B* más distantes, y que de todos los otros se han bajado perpendiculares á su dirección. Bajo el punto de vista de la exactitud relativa que pueda proporcionar cada uno de los tres métodos, me parece que, en general, debe considerarse que el de coordenadas rectangulares es el más desventajoso, porque en la práctica del levantamiento de los detalles nunca es posible hacer la medida de las líneas con la misma precisión que si se tratara de la base de una cadena trigonométrica. Respecto de los otros dos métodos, su bondad relativa depende en gran parte de los instrumentos con que se opera, y de las circunstancias especiales de cada caso. El de intersecciones presenta sobre el de coordenadas polares, la ventaja de que las posiciones de los puntos dependen de un corto número de líneas directrices, que generalmente se escogen en buenas condiciones procurando que queden bien enlazadas entre sí; y en todo rigor debe considerarse que este método no es más que una triangulación en la cual se suprime la observación del tercer ángulo de cada triángulo. Además de esto, la posición de cada punto se obtiene independientemente de las de los demás; de suerte que aun existiendo un error en alguna de ellas, no hay que temer su propagación en el resto del contorno poligonal. No sucede así en el método de coordenadas polares, puesto que cada punto situado sirve á su vez de polo para situar el que sigue, y por consecuencia el

error que exista en uno solo, influye en todos los demás. Sin embargo, en este procedimiento se tienen medios inmediatos de comprobación, ya sea que se levante el plano de una línea sinuosa comprendida entre dos puntos cuya posición sea bien conocida, ya sea que se aplique al levantamiento de un polígono cerrado, porque en el primer caso, la última línea medida ó el último punto situado, deben coincidir con aquel cuya posición se conoce, ó con el punto de partida si se trata del segundo caso. En el método de intersecciones, la gran dificultad consiste en conseguir que las visuales que determinan la posición de cada punto no se corten muy oblicuamente, que es la condición esencial para la bondad del resultado. (Véase el número 40.)

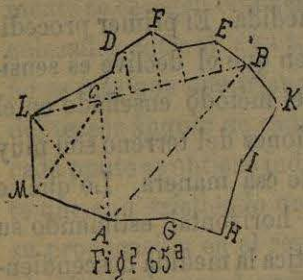
De todo lo expuesto puede deducirse que ambos métodos presentan ventajas é inconvenientes; pero teniendo un buen instrumento angular, el de intersecciones parece preferible al de coordenadas polares, sobre todo si se logra que las visuales dirigidas desde los extremos de las directrices no se corten en ángulos muy agudos, y si además se procura que los puntos no queden situados por menos de tres visuales, con el fin de tener comprobación en cada uno.

122. La dificultad de medir con toda precisión las líneas de la planimetría parcial, proviene principalmente de los obstáculos locales inevitables. Se recordará, en efecto, que como lo que trata de determinarse es la proyección del terreno, y muy pocas veces es posible hallar extensiones horizontales suficientemente grandes para medir las directrices, y mucho menos los lados mismos del polígono, resulta que es de todo punto indispensable hacer las reducciones al horizonte, bien sea conociendo los ángulos de inclinación del terreno, ó bien llevando la cadena horizontal durante la medida. El primer procedimiento es sólo aplicable en aquellos casos en que el declive es sensiblemente uniforme, y entonces se emplea el método enseñado en el número 23; pero por lo común las ondulaciones del terreno son muy variadas, y sería casi imposible proceder de esa manera. Lo que se hace generalmente, es mantener la cadena horizontal, estimando su horizontalidad á la simple vista. Si se practica la medida descendiendo por una línea inclinada, la persona que va adelante levanta la ca-

dena, sirviéndose, si es preciso, de un jalón que le sirva de apoyo; y la que va atrás coloca el extremo que tiene, en el punto en que ha terminado la primera. Si por el contrario, se mide ascendiendo, la persona que va detrás es la que levanta el decámetro, cuidando siempre de colocar su extremidad en la vertical del punto en que terminó la persona que va adelante. Cuando la pendiente del terreno es muy fuerte, esta manera de medir es sumamente molesta, y debe procurarse usar una cadena de una longitud muy corta, y que pese poco, como sucede con los resortes de acero, con el objeto de evitar hasta donde es posible, la catenaria, que disminuyendo notablemente el tamaño de la cadena, es un nuevo manantial de error.

Si á las dificultades enunciadas, se agrega otro género de obstáculos como son la interposición de malezas, rocas, etc., que entorpecen más ó menos la marcha de los operadores, y que se oponen muchas veces á que la cadena se conserve bien en línea recta, se comprenderá sin esfuerzo alguno que es imposible esperar, en esta clase de operaciones, el mismo grado de exactitud que en las trigonométricas, cuyos resultados todos dependen de la medida de una sola línea, y de observaciones angulares que pueden hacerse siempre con la mayor precisión. De aquí proviene que, por regla general, siempre que el ingeniero tenga la libertad de elegir sus medios de acción, debe decidirse por aquellos procedimientos que demanden menos medidas de líneas, aunque sea á costa de mayor número de medidas angulares.

En otra ocasión daré á conocer un instrumento llamado *telémetro* ó *estadia*, que también sirve para medir distancias, y que reemplaza ventajosamente á la cadena métrica, sobre todo cuando los terrenos son muy accidentados.



123. Habiendo dado ya una ligera idea de los tres métodos generales que se aplican en las operaciones secundarias de la planimetría, agreguemos que las más veces no se emplea uno solo de esos procedimientos, sino que se combinan todos ellos según las circunstancias.

Así, por ejemplo, para levantar el plano de un polígono tal como el que representa la figura 65ª puede formarse el triángulo ABC , y sobre sus lados como directrices, aplicar á cada parte del contorno el método que se juzgue más á propósito. En la figura se ha supuesto que la parte $CDEFB$ se ha levantado por coordenadas rectangulares; la parte $AG.....KB$ por coordenadas polares; y finalmente el resto por intersecciones.

Se comprenderá desde luego que no es indispensable que las directrices sean lados trigonométricos, ni mucho menos que se apoyen precisamente en los lados del polígono: basta sólo que sean líneas enlazadas entre sí, y con la triangulación si la hubiere, y establecidas de manera que se presten con facilidad al uso á que se les destina, según el método de levantamiento que haya de aplicarse. En general, como se ha dicho antes, una directriz que debe servir de eje para las coordenadas rectangulares, se elegirá lo más inmediata que sea posible á los lados del polígono, ya sea en su interior ó en su exterior; mientras que si su objeto es servir de base para las intersecciones, se atenderá preferentemente á que las visuales que determinan cada punto resulten con las condiciones favorables que se han prescrito. En los polígonos de lados numerosos y muy pequeños, ó en los terminados por líneas curvas, se establece por lo común una serie de directrices que formen otro polígono auxiliar más regular, inscrito ó circunscrito al primero, y después de enlazados sus vértices por el método de intersecciones ó por el de coordenadas polares, se recorren los lados levantando y midiendo las ordenadas que fijan las sinuosidades ó las principales inflexiones del polígono primitivo.

Acaso los métodos que se combinan con más frecuencia son los de coordenadas polares y rectangulares. Para levantar el plano de un camino ó de un río (fig. 66ª), se hace esta combinación estableciendo alineamientos rectilíneos por el eje del primero ó por las orillas del segundo; y después de medidos y ligados entre sí por el procedimiento de coorde-

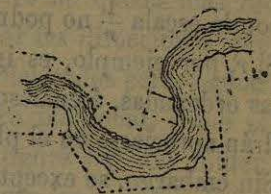
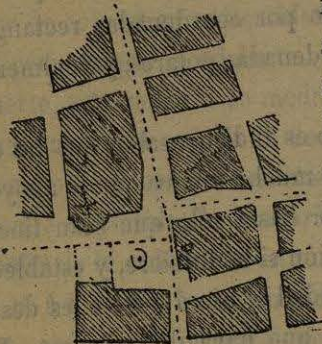


Fig. 66ª

nadas polares, se emplean como ejes de abscisas, para configurar las pequeñas inflexiones de la vía ó del curso de agua en su caso. La misma combinación se adopta para levantar planos de poblaciones: las directrices se establecen á lo largo de las calles (fig. 67^a), procurando que formen polígonos cerrados

Fig. 67^a

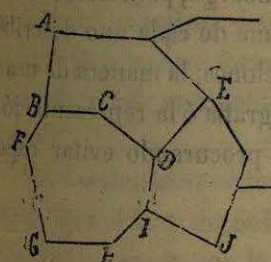
á fin de obtener comprobaciones, y en seguida se bajan perpendiculares á sus lados desde las esquinas de las manzanas, desde las sinuosidades de las aceras, etc., las que una vez medidas, permiten la construcción del plano.

Siempre que se haga uso de directrices para levantar el plano de un polígono cualquiera, deben trazarse en el terreno por el método del número 13, cuando su longitud sea tal que pueda originarse algún error de importancia al ejecutar la medida sin el trazo previo; pero si no exceden de 300 ó 400 metros, no hay inconveniente en señalar con banderas únicamente sus extremos, y al hacer la medida, estas sirven de puntos de mira para no salirse del alineamiento. De las dos personas que llevan la cadena, la de atrás, guiándose por la bandera, va indicando á la de adelante la dirección en que debe colocar sus fichas.

Al tomar dimensiones de todos los detalles, para no hacer medidas inútiles, es preciso que tenga presente el ingeniero que ciertos objetos no pueden figurar en el plano, sobre todo cuando la escala de éste ha de ser pequeña. En efecto, suponiendo siempre que $0^m.0001$ sea el límite de la extensión apreciable á la simple vista, resulta que con la escala $\frac{1}{r}$ no podrán estimarse cantidades inferiores á $0.0001 r$. Si r , por ejemplo, es igual á 40000 las inflexiones de los linderos, las ordenadas, ó cualesquiera otros objetos de menos de 4^m , no podrán apreciarse en el plano, y en consecuencia será inútil medirlos. Sin embargo, se exceptúan de la regla general ciertos detalles que por su importancia no deben suprimirse, aunque se alteren un poco sus dimensiones como son los caminos, que se indican por medio de dos líneas paralelas distantes una de otra cosa de medio milímetro

por lo menos; los ríos cuyo curso se configura con una línea más ó menos gruesa; los edificios notables, que se indican aunque sea con un punto, etc. Es claro, por supuesto, que cuando la escala lo permita, todos los objetos deben sujetarse, en el plano, á sus dimensiones relativas.

124. Al principio de este libro se dijo que aun cuando el terreno cuyo plano se trataba de levantar no tuviese mucha extensión, era conveniente comenzar por la medida de algunos triángulos para tener puntos de rectificación, y también para facilitar las operaciones ulteriores. Probablemente el lector, impuesto ya de todo lo relativo á las triangulaciones, habrá comprendido la utilidad de aquella prescripción; pero hay casos en que las triangulaciones regulares son realmente impracticables. En los terrenos llanos muy abundantes en vegetación, y aun en los montañosos cubiertos de bosques sucede á veces que la vista queda obstruída por todas partes; y sería necesario emprender grandes desmontes para procurarse un horizonte despejado en las direcciones indispensables para la formación de triángulos de buena forma. Si toda la dificultad consistiese únicamente en la configuración, no debería vacilar el ingeniero en hacer la triangulación, pues aunque sus triángulos resultasen con ángulos muy agudos ó muy obtusos, siempre obtendría las posiciones de algunos puntos por un procedimiento que, aun en malas circunstancias, debe reputarse superior á cualquiera de los de la planimetría parcial en que intervienen muchas medidas de líneas. Pero suele suceder que los obstáculos son de tal naturaleza, que sin emprender grandes gastos y sin destruir la vegetación, no es posible triangular

Fig. 68^a

el terreno, y entonces no queda más recurso que aprovechar las direcciones que presenten menos dificultades para formar una red ó un canevá poligonal, como el que representa la figura 68^a. Se miden todos los lados y todos los ángulos de los polígonos elementales, los cuales se enlazan entre sí hasta donde se pueda, con el fin de procurarse medios de comproba-

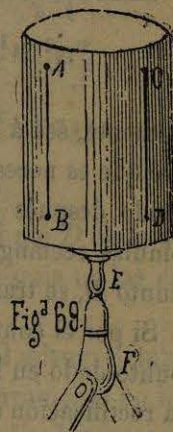
ción. Por ejemplo, si partiendo de A , se han medido las líneas AB , BC , CD y DE , se tendrán los puntos D y E que son comunes á otros polígonos, y cuyas posiciones, al construir el plano, deben coincidir con las que se obtengan por las líneas BF , FG , GH , HI , ID y por IJ , JE . Cuando se ha conseguido un enlace tan íntimo como sea posible, estas líneas poligonales hacen las veces de los lados trigonométricos, quiere decir, sirven ya sea inmediatamente de directrices, ó ya como apoyo de éstas para configurar los detalles que haya en el interior de cada uno de esos grandes polígonos. Algunos geómetras aseguran que por medio del sistema poligonal se logran resultados comparables en exactitud á los que se obtienen por los procedimientos trigonométricos. Estos últimos son sin duda más sencillos; pero aquel es acaso el único aplicable en las circunstancias que se han mencionado, y que se presentan con frecuencia en nuestras costas cubiertas siempre de una exuberante vegetación.

125. Las ideas generales que he procurado desarrollar acerca de los métodos que se emplean en el levantamiento de planos de corta extensión, bastan para concebir que una cadena métrica y un teodolito son los instrumentos que pueden usarse en todos casos; pero entre los angulares, que se designan con el nombre genérico de *goniómetros*, hay otros muchos instrumentos que, aunque inferiores al teodolito, se usan frecuentemente por ser más portátiles, y porque suministran el grado de exactitud suficiente en la mayor parte de las operaciones secundarias. En los Capítulos siguientes me propongo dar á conocer los principales goniómetros, y como el lector está ya familiarizado con el más perfecto de ellos que es el teodolito, no creo necesario entrar en muchos detalles. Sin embargo, para sistematizar todo lo concerniente á los demás, al ocuparme de cada uno describiré brevemente su construcción, sus rectificaciones, la manera de usarlo, y por último, el modo de hacer la planografía ó la representación gráfica de las operaciones á que se aplique, procurando evitar repeticiones inútiles, hasta donde sea posible.

CAPITULO XII.

DE LA ESCUADRA.

126. El más sencillo de todos los goniómetros, y también el de uso más limitado es el que se designa con el nombre de *escuadra de agrimensor*, ó simplemente de *escuadra*. Consiste en un cilindro ó en un prisma octogonal de 0^m.10 á 0^m.15 de altura, y 0^m.08 ó 0^m.10 de diámetro, provisto de otro cilindro hueco E (fig. 69^a), que sirve para fijarlo en una estaca ó en un tripié F . A lo largo de las generatrices del cilindro principal, tiene *pínulas*, que son unas aberturas largas y estrechas que sirven para dirigir las visuales. Cada pínula se compone de dos aberturas diametralmente opuestas: aquella AB en que se aplica la vista, es más angosta que su correspondiente, y esta última, tal como CD , un poco más ancha, tiene un hilo, un cabello ó una cerda que es la que determina la visual en un plano que pasa por el eje del cilindro. Las mejores escuadras tienen cuatro pínulas que forman ángulos de 45°, y las comunes tienen solamente dos, perpendiculares entre sí.



Para comprobar el instrumento, se le coloca en D (fig. 70^a) sobre una línea AB , y después de hacerlo girar de manera que una de sus pínulas coincida con la recta AB , cortando con el hilo la señal B , se dirige una visual por la otra pínula, y se establece en esa direc-